

SEGURANÇA HIDRÁULICO- OPERACIONAL DE BARRAGENS. PROPOSTAS DE MELHORIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

JOSÉ RICARDO FARIA CARVALHO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Irene Ramos Chaves Fernandes

JUNHO 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Avós

O homem que não comete erros geralmente não faz nada.

Phelps , E.J.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a concretizar esta nova etapa.

À minha orientadora, Professora Irene Ramos Chaves Fernandes, pelas orientações, comentários, disponibilidade, paciência, simpatia e conselhos recebidos ao longo deste trabalho.

Aos meus Avós pelos ensinamentos transmitidos, pelos momentos passados e pelas lembranças deixadas.

Aos meus Pais e Irmão por tudo, pela compreensão, paciência, motivação, educação, por todo o apoio que me deram e por possibilitarem ser quem sou.

À Márcia que me acompanhou ao longo deste percurso académico e me ajudou nas fases de maior aflição.

Aos meus amigos pelo companheirismo, pelos momentos de alegria passados e por nunca me deixarem só.

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos é um tema de elevada importância, dado que a água doce, que constitui um bem indispensável à vida e ao desenvolvimento das populações, apresenta grande irregularidade na sua distribuição espacial e temporal.

Assim, a construção de barragens é necessária para uma adequada gestão dos recursos hídricos pois permite o armazenamento de água para várias utilizações, nomeadamente: abastecimento, rega, controlo de cheias, produção de energia e navegação. Contudo, as barragens têm associados riscos potenciais consideráveis, uma vez que, em caso de acidente grave, podem provocar perda de vidas humanas e elevados prejuízos materiais no vale a jusante.

De acordo com os dados estatísticos disponíveis, cerca de 40% dos acidentes ocorridos em barragens foram causados por falhas na segurança hidráulico-operacional, principalmente devido à insuficiente capacidade de vazão dos descarregadores de cheias ou ao deficiente funcionamento do equipamento neles instalados.

Neste contexto, a segurança hidráulico-operacional de barragens requer grande atenção por parte de todas as entidades envolvidas no seu projeto, construção e exploração, sendo indispensável um enquadramento legislativo devidamente constituído e atualizado.

A presente dissertação tem como principal objetivo a apresentação de propostas de melhoria da legislação portuguesa relativa à segurança hidráulico-operacional de barragens. Para atingir este objetivo foram analisados vários aspetos, designadamente: tipos e constituição de barragens (especialmente os órgãos hidráulicos de segurança), principais causas e consequência de acidentes ocorridos em barragens, legislação portuguesa e estrangeira relativa à segurança hidráulico-operacional de barragens.

PALAVRAS-CHAVE: barragens, segurança hidráulico-operacional, órgãos hidráulicos de segurança, legislação de segurança de barragens.

ABSTRACT

The management of water resources is an issue of high importance, since fresh water, which is an indispensable asset to life and development of the population, presents a great irregularity in its spatial and temporal distribution.

Thus, the construction of dams is necessary for the proper management of water resources as it allows the storage of water for various uses, including: supply, irrigation, flood control, power generation and navigation. However, the dams have considerable potential associated risks, since, in the event of a serious accident can cause loss of life and extensive material damage in the downstream valley.

According to available statistics, about 40% of accidents on dams have been caused by faults in the hydraulic-operational safety, mainly due to insufficient flow capacity of spillway or malfunction of the equipment installed on them.

In this context, the hydraulic-operational safety of dams requires great attention from all organizations involved in its design, construction and operation, being indispensable a legislative framework duly organized and updated.

This thesis aims to present proposals for improvement of the Portuguese legislation on hydraulic-operational safety of dams. To achieve this goal have been analyzed various aspects, namely: types and formation of dams (especially the hydraulic safety devices), main causes and consequences of accidents in dams, Portuguese and foreign legislation on hydraulic-operational safety of dams.

KEYWORDS: dams, hydraulic-operational safety, hydraulic safety devices, dam safety legislation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. BARRAGENS	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2 ELEMENTOS DA BARRAGEM	6
2.3 TIPOS DE BARRAGEM	6
2.3.1 BARRAGENS DE ATERRO	7
2.3.2 BARRAGENS DE BETÃO CONVENCIONAL	8
2.3.2.1 Barragens do tipo gravidade	9
2.3.2.2 Barragens do tipo contrafortes	10
2.3.2.3 Barragens do tipo arco	10
2.3.3 BARRAGENS DE BETÃO COMPACTADO COM CILINDRO	11
2.4 ÓRGÃOS DE SEGURANÇA	12
2.4.1 TIPOS DE DESCARREGADORES DE CHEIAS	12
2.4.1.1 Descarregadores sobre a barragem	14
2.4.1.2 Descarregadores por orifícios	14
2.4.1.3 Descarregadores em canal de encosta	15
2.4.1.4 Descarregadores em poço	15
2.4.1.5 Descarregadores fusíveis	16
2.4.1.6 Descarregadores não convencionais	16
2.4.2 SOLEIRAS DESCARREGADORAS	17
2.4.3 DESCARGAS DE FUNDO	17
2.4.4 ÓRGÃOS DE DISSIPACÃO DE ENERGIA	19
2.4.4.1 Bacias de dissipação por ressalto	19

2.4.4.2 Conhas rolo.....	20
2.4.4.3 Bacias de dissipação de jatos	20
2.4.4.4 Trampolins	21
2.5 CONDICIONAMENTOS NA SELEÇÃO DO TIPO DE BARRAGEM	21
2.6 BARRAGENS PORTUGUESAS	22
2.7 BARRAGENS A NÍVEL MUNDIAL	26

3. IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL

3.1 INTRODUÇÃO	29
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DETERIORAÇÕES E RUTURAS EM BARRAGENS	30
3.2.1 CENÁRIOS DE DETERIORAÇÃO	30
3.2.1.1 Cenários de deterioração de barragens	30
3.2.1.2 Cenários de deterioração dos órgãos de segurança e exploração.....	31
3.2.2 RUTURA EM BARRAGENS	32
3.2.2.1 Causas mais frequentes de ruturas.....	32
3.2.2.2 Tipos de rutura.....	33
3.2.2.3 Probabilidade de rutura	34
3.2.2.4 Consequências da rutura	36
3.3 ANÁLISE DO CASO PORTUGUÊS.....	37
3.3.1 RUTURA E ACIDENTES	37
3.3.2 CASOS DE ESTUDOS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS PORTUGUESAS	38

4. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS.....

4.1 INTRODUÇÃO	43
4.2 BREVE HISTÓRIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA.....	43
4.3 REGULAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS	45
4.3.1 OBJETO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO.....	45
4.3.2 RESPONSABILIDADE TÉCNICA.....	45
4.3.3 REGRAS RELATIVAS AO PROJETO	46
4.3.4 REGRAS RELATIVAS À CONSTRUÇÃO	47
4.3.5 REGRAS RELATIVAS À EXPLORAÇÃO	47

4.3.6 REGRAS RELATIVAS À OBSERVAÇÃO	47
4.4 REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS	48
4.4.1 ATUALIZAÇÃO DO REGULAMENTO	48
4.4.2 ESTRUTURA DO REGULAMENTO	49
4.4.3 OBJETO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO	49
4.4.4 ENTIDADES ENVOLVIDAS	50
4.4.4.1 Autoridade Nacional de Segurança de Barragens.....	52
4.4.4.2 Laboratório Nacional de Engenharia Civil.....	52
4.4.4.3 Autoridade Nacional de Proteção Civil.....	53
4.4.4.4 Comissão de Segurança de Barragens	53
4.4.4.5 Dono de obra.....	53
4.4.5 CONTROLO DE SEGURANÇA.....	54
4.4.6 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CIVIL.....	56
4.4.7 DISPOSIÇÕES COMPLEMENTARES E TRANSITÓRIAS	56
4.5 NORMAS ASSOCIADAS AO REGULAMENTO	56
4.5.1 NORMAS DE PROJETO DE BARRAGENS	56
4.5.2 NORMAS DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS	59
4.5.3 NORMAS DE OBSERVAÇÃO E INSPEÇÃO DE BARRAGENS	60
4.6 REGIME CONTRAORDENACIONAL DE BARRAGENS	61
 5. LEGISLAÇÃO DE BARRAGENS A NÍVEL MUNDIAL	 63
5.1 INTRODUÇÃO	63
5.2 ESTADO ATUAL DA LEGISLAÇÃO A NÍVEL MUNDIAL.....	63
5.3 CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS.....	65
5.4 ENTIDADES ENVOLVIDAS	67
5.5 DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO PROJETO.....	69
5.5.1 CHEIA DE PROJETO	69
5.5.2 ÓRGÃOS DE SEGURANÇA.....	71
5.6 EXPLORAÇÃO E INSPEÇÕES.....	72
5.7 PLANO DE EMERGÊNCIA	73
5.7.1 APLICAÇÃO DO PLANO DE EMERGÊNCIA	74
5.7.2 VALE A JUSANTE E ZONAMENTO DE RISCO	74

5.7.3 SISTEMAS DE AVISO E ALERTA.....	75
---------------------------------------	----

6. PROPOSTAS DE MELHORIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS..... 77

6.1 INTRODUÇÃO	77
----------------------	----

6.2 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS.....	78
--------------------------------------	----

6.3 ESTUDOS HIDROLÓGICOS	79
--------------------------------	----

6.4 FOLGA.....	79
----------------	----

6.5 DESCARREGADOR DE CHEIAS	80
-----------------------------------	----

6.6 DESCARGA DE FUNDO	81
-----------------------------	----

6.7 PLANOS DE EMERGÊNCIA E SISTEMAS DE AVISO	82
--	----

7. CONCLUSÕES..... 83

Referências Bibliográficas 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Barragem de terra homogénea	7
Fig. 2.2 - Barragem de terra de perfil zonado	8
Fig. 2.3 - Barragem de enrocamento	8
Fig. 2.4 - Barragem tipo gravidade.....	9
Fig. 2.5 - Barragem tipo contrafortes	10
Fig. 2.6 - Barragem tipo arcos múltiplos	11
Fig. 2.7 - Barragem de betão compactado com cilindro	11
Fig. 2.8 - Descarregadores sobre a barragem	14
Fig. 2.9 - Descarregadores por orifício.....	15
Fig. 2.10 - Descarregador em canal de encosta	15
Fig. 2.11 - Descarregador em poço.....	16
Fig. 2.12 - Esquema de bacia de dissipação de energia por ressalto hidráulico.....	20
Fig. 2.13 - Localização das grandes barragens em Portugal	23
Fig. 2.14 - Barragem do Roxo	25
Fig. 3.1 - Ruturas de barragens paradigmáticas.....	34
Fig. 3.2 - Barragem do Pisco.....	40

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Descarregadores de cheia. Classificação e principais características	13
Quadro 2.2 - Tipos de soleiras descarregadoras.....	18
Quadro 3.1 - Número de vítimas estimado devido á rutura de barragens.....	37
Quadro 3.2 – Resultados dos estudos hidrológicos e desempenho dos descarregadores	39
Quadro 4.1 - Evolução da legislação portuguesa de segurança em barragens	44
Quadro 4.2 - Classificação das barragens em função dos danos potenciais	50
Quadro 4.3 - Entidades envolvidas na organização do controlo de segurança de barragens	51
Quadro 4.4 - Períodos de retorno para cheias de projeto	58
Quadro 5.1 - Países que dispõem de legislação	63
Quadro 5.2 - Quadro síntese das barragens sujeitas a regulamentação e dos planos de emergência	66
Quadro 5.3 - Classificação da barragem em função do volume e altura.....	70
Quadro 5.4 - Classificação do risco em função da perda de vidas humanas e prejuízos materiais	70
Quadro 5.5- Martins do período de retorno em função risco potencial e classificação das barragens	70
Quadro 5.6 -Período de retorno da cheia de projeto do estado da Renânia do Norte, Vestefália	71
Quadro 5.7 - Sistemas de alerta em vários países europeus	75
Quadro 6.1 - Cruzamento das classificações relativas à vulnerabilidade e ao dano potencial	78
Quadro 6.2 - Folgas definidas pela <i>Institution of Civil Engineers</i>	80
Quadro 6.3 - Folgas definidas no futuro regulamento de segurança em barragens de moçambique.	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Construção de grandes barragens em Portugal.....	24
Gráfico 2.2 - Tipos de grandes barragens em Portugal	24
Gráfico 2.3 - Finalidade de grandes barragens em Portugal	25
Gráfico 2.4 - Finalidade de grandes barragens a nível mundial.....	26
Gráfico 2.5 – Tipos de grandes barragens a nível mundial.....	27
Gráfico 3.1 - Principais cenários de deterioração dos órgãos de segurança e exploração	33
Gráfico 3.2 - Principais causas de ruturas em barragens nos EUA	33
Gráfico 3.3 - Ruturas por tipo de barragem	35
Gráfico 3.4 - Ruturas por fase de vida da barragem	36

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

m – metro(s)

m² – *metro quadrado*

hm³– Hectómetro cúbico

H – altura

V – volume

ha – hectare

Km – Quilómetro

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Cível

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BUREC – United States Bureau of Reclamation

BCC – Betão compactado com cilindro

CNPGB – Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens

CNPC – Comissão Nacional de Proteção Cível

CSB – Comissão de Segurança de Barragens

EDF – Électricité de France

EUA – Estados Unidos da América

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ICOLD – International Commission on Large Dams

INAG – Instituto Nacional da Água

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Cível

NCB – Normas de Construção de Barragens

NMC – Nível de Máxima Cheia

NOIB – Normas de Observação e Inspeção de Barragens

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

NPB – Normas de Projeto de Barragens

NPDP – National Performance of Dams Program

PMF – Probable Maximum Flood

RPB – Regulamento de Pequenas Barragens

RPBT – Regulamento de Pequenas Barragens de Terra

RSB – Regulamento de Segurança de Barragens

WES – Waterways Experiment Station

Fig. – Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

A água é um recurso natural cuja abundância ou carência tem grande impacto na evolução das populações. Para fazer face à irregularidade da sua distribuição espacial e temporal, várias técnicas de armazenamento de água têm sido desenvolvidas, sendo as barragens o principal exemplo destas técnicas.

A construção de barragens é indispensável para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, pois criam albufeiras que permitem satisfazer necessidades da população, nomeadamente: abastecimento, rega, controlo de cheias, produção de energia e navegação.

Foram desenvolvidas aos longos dos tempos diferentes formas de construir barragens que geraram diferentes classificações, quanto ao tipo de material utilizado (betão ou aterro), aos métodos usados na construção (betão convencional vibrado ou betão compactado com cilindro), à geometria da secção da barragem (gravidade ou arco), às dimensões e volumes das albufeiras (grandes ou pequenas barragens).

Igualmente, através da evolução tecnológica, foi possível a construção de barragens de maiores dimensões (altura, comprimento e volume da albufeira), o que conduziu a um aumento significativo do risco potencial associado à sua rutura. Esta rutura, embora com baixíssima probabilidade de ocorrer, pode ter consequências catastróficas, pois a libertação de grande volume de água inunda e submerge o vale a jusante ao longo de vários quilómetros. Um pouco por todo o mundo, têm ocorrido acidentes de elevadas proporções, provocando perda de vidas humanas e elevados prejuízos materiais e ambientais, situações que, até à data, não aconteceram em Portugal.

O número de casos de acidentes e ruturas, tanto a nível mundial como no caso português, é em grande parte, devido a problemas nos órgãos de segurança e exploração, nomeadamente por insuficiente capacidade de vazão dos descarregadores de cheias (subestimação da cheia de projeto), mau funcionamento das comportas e falta de manutenção. Em muitos casos, como em algumas barragens antigas em Portugal, verifica-se também a inexistência de descargas de fundo, necessárias para o eventual esvaziamento programado ou de emergência da albufeira. A sensibilização para o controlo da segurança hidráulico-operacional torna-se portanto, um ponto crucial a ter em conta face ao número de casos de acidentes em barragens.

Tal como qualquer tipo de construção que envolve riscos para as pessoas e bens materiais, também as barragens são abrangidas por legislação. É indispensável controlar a segurança destas obras, por intermédio de medidas adequadas de projeto, construção, exploração, observação e inspeção.

O Regulamento de Pequenas Barragens de Terra, publicado em forma de Decreto-lei em 1968, constituiu a primeira peça legislativa relativa à segurança de barragens portuguesas. Este Regulamento viria a ser substituído, através do Decreto-Lei n.º 409/93, pelo Regulamento de Pequenas Barragens (RPB).

Em 1990, foi publicado um novo diploma, igualmente sob a forma de Decreto-Lei n.º 11/90, o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), enquadrando as atividades de segurança das grandes barragens. Este regulamento foi atualizado em 2007, passando a classificar as barragens em 3 classes quanto ao risco potencial a elas associado. Foram ainda publicadas as Normas de Projeto e as Normas de Observação e Inspeção em 1993, bem como as Normas de Construção em 1998, aguardando-se a publicação das Normas de Exploração, que completarão a legislação nacional neste domínio.

Em Portugal, segundo a proteção civil, existem atualmente cerca de 600 barragens que são abrangidas pelo Regulamento de Segurança de Barragens (Decreto-Lei nº 344/2007, de 15 de Outubro). Destas, cerca de 231 são consideradas grandes barragens e 100 são consideradas de maior risco para o vale a jusante, sendo denominadas de classe I. O Regulamento de Segurança de Barragens exige maior precaução e obriga as entidades governamentais a definirem mapas de inundação, planos de emergência e sistemas de aviso e alerta, para barragens de classe I.

Convém referir que, paralelamente ao crescimento do bem-estar socioeconómico, há um aumento das exigências da população no que diz respeito ao conhecimento e minimização dos riscos associados às obras, pelo que a segurança de barragens é uma preocupação constante de todas as entidades que se relacionam com as barragens, procurando-se uma atualização constante da legislação e uma melhoria contínua da sua aplicação.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é a apresentação de propostas de melhoria da legislação portuguesa relativa à segurança hidráulico-operacional de barragens. Para atingir este objetivo, foram definidos os seguintes objetivos parcelares:

- Pesquisa relativamente aos tipos de barragens e dos elementos que as constituem, em especial, os órgãos hidráulicos de segurança (descarregador de cheias e descarga de fundo), bem como uma breve análise estatística a nível nacional e mundial;
- Compreensão da importância da segurança hidráulico-operacional de barragens, recorrendo à análise das principais causas de acidentes e ruturas ocorridas a nível mundial;
- Análise da legislação portuguesa de segurança de barragens e identificação das exigências no âmbito da segurança hidráulico-operacional;
- Análise da legislação de segurança hidráulico-operacional de barragens de alguns países estrangeiros e comparação com a legislação nacional.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em sete capítulos, começando pela presente introdução, cuja finalidade é fazer o enquadramento do tema desenvolvido e apresentar os objetivos e estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 – Barragens, apresentam-se os tipos de barragens existentes bem como os respetivos órgãos de segurança e exploração, nomeadamente, descarregador de cheias e descarga de fundo. Também é apresentada uma breve análise estatística das barragens quanto ao seu tipo e finalidade em Portugal e a nível mundial.

O Capítulo 3 – Importância da segurança hidráulico-operacional, tem como objetivo a sensibilização para a importância da segurança hidráulico-operacional das barragens. Recorre-se à análise estatística de dados disponíveis a nível mundial para mostrar que a segurança hidráulico-operacional é um fator crucial para o bom funcionamento de uma barragem, já que as principais causas de acidentes e ruturas em barragens se devem à incapacidade de vazão dos descarregadores de cheias e ao deficiente funcionamento dos equipamentos neles instalados.

No Capítulo 4 – Legislação portuguesa de segurança de barragens, é feita uma retrospectiva e análise da legislação portuguesa de segurança de barragens. São apresentados, de forma sucinta, os aspetos gerais da legislação em vigor (RPB, RSB e as respetivas normas) incidindo, sobretudo, nos aspetos hidráulico-operacionais.

No Capítulo 5 – Legislação de barragens a nível mundial, apresenta-se a análise de aspetos relevantes da legislação de segurança hidráulico-operacional de vários países estrangeiros que servem de base à comparação com a legislação nacional.

No Capítulo 6 – Propostas de melhoria da legislação portuguesa de segurança de barragens, são apresentadas propostas de melhoria da legislação portuguesa relativa à segurança hidráulico-operacional de barragens, com base na análise efetuada nos capítulos anteriores.

No Capítulo 7 – Conclusões, resumem-se as principais conclusões da dissertação.

2

BARRAGENS

2.1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana, cuja disponibilidade apresenta grande irregularidade temporal e espacial dos rios. Para fazer face a essa irregularidade o Homem tem desenvolvido várias técnicas de armazenamento de água, sendo as barragens uma das principais.

Desde os tempos antigos que a construção de barragens tem sido fundamental para melhorar a qualidade de vida das populações. Nesse tempo o principal propósito em prevenir a falta de água em épocas de seca. A água era armazenada nos meses mais húmidos para depois ser utilizada nos meses mais secos.

Uma barragem pode ser construída com um ou vários fins. Entre as diferentes razões que levam à construção de uma barragem inclui-se: abastecimento, rega, controlo de cheias, produção de energia e navegação.

Paralelamente aos importantes benefícios que proporcionam, as barragens também criam impactes negativos, como interrupção da continuidade da vida aquática, deslocação da população, submersão de vastas áreas cultiváveis na zona da albufeira. Contudo, a maior preocupação na construção de uma barragem é o potencial efeito destruidor que, em caso de rutura, provoca efeitos devastadores no vale a jusante.

No presente capítulo, abordam-se os diferentes tipos de barragens, segundo as várias classificações, como geometria, materiais utilizados e dimensão. Apresentam-se os vários elementos da barragem, com especial incidência nos órgãos de segurança. Por fim, apresenta-se uma breve análise estatística das barragens portuguesas e das barragens a nível mundial.

2.2 ELEMENTOS DA BARRAGEM

O termo barragem corresponde, em sentido lato, ao conjunto formado pela estrutura propriamente dita, pelos órgãos de segurança e exploração e pela albufeira. Assim, compreende:

- Paramentos (de montante e de jusante) – são as superfícies que limitam o corpo da barragem, sendo o paramento de montante o que se encontra em contacto com a água.
- Coroamento – é a superfície que delimita superiormente o corpo da barragem.
- Encontros – são as zonas laterais do corpo da barragem em contacto com as margens do rio.
- Fundação – é a superfície inferior do corpo da barragem em contacto com o fundo do rio.
- Albufeira – é o volume de água retido pela barragem.
- Descarregador de cheias – é o órgão hidráulico para descarga da água em excesso na albufeira.
- Tomada de água – é órgão hidráulico de extração de água da albufeira para utilização.
- Descarga de fundo – é o órgão hidráulico para esvaziamento da albufeira.
- Comportas – são os dispositivos que geralmente obturam os órgãos de segurança.

2.3 TIPOS DE BARRAGENS

Desde sempre que o Homem aproveitou os recursos da natureza, e com o evoluir do conhecimento dos materiais foi aperfeiçoando as suas invenções. Assim, tornou possível a construção de barragens de grande dimensão e com várias formas.

Existem diferentes critérios para a classificação de barragens, sendo frequentes os que se baseiam na importância, na finalidade e nos materiais e tipo de estrutura (Quintela 1990).

Segundo a importância, as barragens podem ser classificadas em função da sua dimensão e do risco potencial. No que respeita à sua dimensão, podem classificar-se como grandes ou pequenas barragens, em função da altura, volume da albufeira e desenvolvimento do coroamento. Para questões regulamentares e de segurança, geralmente, a classificação de barragens é associada ao risco potencial que estas obras apresentam em função das populações e bens materiais e ambientais do vale a jusante.

Tendo em conta a finalidade principal para que foram previstas, as barragens podem classificar-se de um único fim, ou de fins múltiplos quando se verifica a coexistência de diferentes objetivos, sem que a importância de qualquer deles se sobreponha.

Quanto aos materiais, as barragens podem ser classificadas como barragens de aterro (terra e enrocamento) e barragens de betão (e menos frequentemente de alvenaria), existindo algumas compostas por diferentes materiais. Quanto ao tipo de estrutura, podem ser classificadas em gravidade, arco e contrafortes. As barragens de betão podem ainda ser construídas em betão convencional vibrado ou em betão compactado com cilindro (BCC). Seja qual for o tipo de barragem esta, terá de ser impermeável e resistir aos impulsos da água. No entanto, o desempenho desejado poderá variar consoante o tipo.

Seguidamente, apresentam-se mais detalhadamente alguns dos aspetos referidos.

2.3.1 BARRAGENS DE ATERRO

As barragens de aterro foram o primeiro tipo de barragens a ser construídas. Há vestígios de pequenas barragens construídas há cerca de 5000 anos, no Médio Oriente. Eram formadas por barreiras de terra colocadas em linhas de água, com o principal propósito de desvio dos cursos de água, armazenamento para rega, abastecimento e acumulação de sedimentos para posteriormente serem utilizados em cultivos (ICOLD 2011).

As barragens de aterro são o tipo mais comum, correspondendo a 56% das grandes barragens em Portugal (gráfico 2.2) e 63% das grandes barragens registadas na Comissão Internacional de Barragens (gráfico 2.5). A construção do corpo da barragem faz-se utilizando materiais no estado natural, existentes, geralmente, próximo do local de exploração.

Este tipo de barragens é utilizado, mais frequentemente, quando o maciço de fundação apresenta características de má qualidade, quando a distância entre margens é elevada e a disponibilidade e características dos materiais na envolvente são adequados. É usual construir barragens com perfil trapezoidal para resistirem aos impulsos originados pela água, pois este tipo de geometria confere-lhes estabilidade (Ramos e Caldeira 2001).

As Normas de Projeto de Barragens (NPB) classificam as barragens de aterro segundo os materiais que as compõem da seguinte forma:

- Terra com perfil homogéneo ou perfil zonado;
- Enrocamento, com órgão de estanquidade a montante ou órgão de estanquidade interno;
- Mistas, com perfil constituído por dois maciços, um de terra e outro de enrocamento.

As barragens de aterro classificam-se como de terra, se o seu corpo é constituído em mais de 50% por solo compactado. Estas podem ainda ser homogéneas ou zonadas. Os maciços homogéneos servem para controlar a percolação da água e transmitir cargas à fundação. Na figura 2.1 está representado um perfil esquemático de uma barragem de terra homogénea.



Fig. 2.1 - Barragem de terra homogénea (fct.unl.pt)

As barragens de terra de perfil zonado são constituídas por dois tipos de materiais com características diferentes; o primeiro confere resistência, enquanto o segundo confere impermeabilidade. Este tipo de barragens é utilizado em alternativa às de terra homogénea, quando há indisponibilidade de solos com características semelhantes. Em Portugal existem atualmente cerca de 48 grandes barragens de terra de perfil zonado, referindo-se como exemplo a barragem de Sabugal (fig. 2.10). Na figura 2.2 está representado um perfil esquemático de uma barragem de perfil zonado de terra-enrocamento.

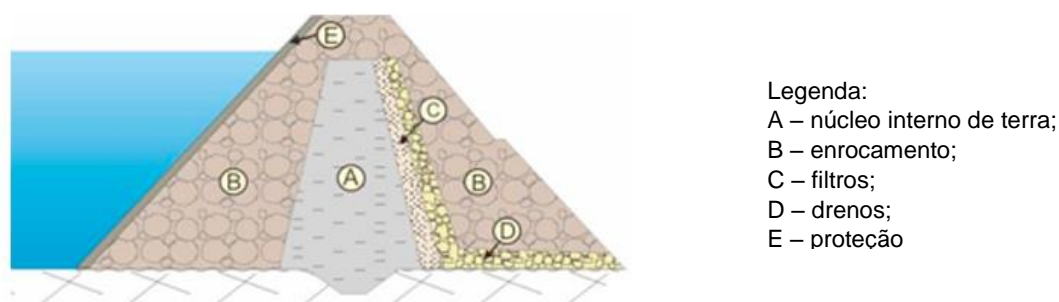


Fig. 2.2 – Barragem de terra de perfil zonado (fct.unl.pt)

Uma barragem de aterro é classificada como de enrocamento se mais de 50% do volume do seu corpo é constituído por enrocamento. Nestas barragens surge a necessidade de órgão de estanquidade, uma vez que as características do enrocamento facilitam a passagem de água, o que é indesejável. Na figura 2.3 é apresentado um exemplo de um perfil tipo de uma barragem de enrocamento com cortina impermeável a montante (Quintela, 1990).



Fig. 2.3 Barragem de enrocamento (fct.unl.pt)

Existem vários tipos de tecnologias associadas a este tipo de barragens, dependendo, normalmente, do desempenho, características e disponibilidade dos materiais. As diferentes soluções para otimizar o desempenho das barragens de aterro incluem, geralmente, drenos de pé de jusante, drenos verticais e tapete drenante, membranas de betão, cortinas de betão e corta águas.

Estas soluções têm como principal função facilitar a drenagem de água na base do corpo da barragem, eliminando a erosão interna causada pela percolação de água e consequentemente conferir a estabilidade às barragens.

2.3.2 BARRAGENS DE BETÃO CONVENCIONAL

Os betões são misturas de pedras e areias, aglutinadas por um ligante hidráulico, gesso ou cal hidráulica. Para conferir ao betão importantes características como resistência, impermeabilidade e durabilidade, é necessário um estudo adequado dos materiais e tecnologias empregues, da sua mistura, colocação em obra, cura e controlo de temperaturas de aplicação.

Pode-se afirmar que as barragens de betão foram as sucessoras das de alvenaria. Em ambas é utilizado o mesmo método de construção, mas após a utilização das de betão, as de alvenaria entraram em desuso, devido sobretudo à quantidade e qualidade de materiais necessários, bem como à necessidade de mão-de-obra.

Quanto ao perfil, as barragens de betão podem ser divididas em:

- Barragens de gravidade;
- Barragens de contrafortes;
- Barragens em arco.

Em seguida, apresentam-se detalhadamente os aspetos atrás referidos.

2.3.2.1 Barragens tipo gravidade

O princípio das barragens de gravidade é o mesmo utilizado em muros de suporte de terras, devendo o peso do seu corpo assegurar os impulsos da água. As barragens de betão tipo gravidade são estruturas construídas normalmente em eixo reto, com perfil transversal aproximadamente triangular, sendo o paramento de montante vertical.

O seu dimensionamento deve atender ao derrubamento e deslizamento segundo qualquer plano horizontal. É também importante considerar possíveis variações térmicas devido à libertação de calor da hidratação do cimento durante a construção, quer ambientais quer as induzidas pelo enchimento da albufeira.

As barragens de gravidade em betão podem ser classificadas como barragens móveis quando a área total controlada por comportas é uma fração significativa da secção transversal do vale. Uma barragem móvel é uma estrutura concebida para que na situação de ocorrência de cheias, com as comportas totalmente abertas, não se criem quaisquer perturbações físicas ao escoamento, com exceção dos pilares, dos encontros do aproveitamento e da bacia de dissipação a jusante. Em Portugal existem apenas duas barragens móveis.

As barragens tipo gravidade são comuns em Portugal, correspondem cerca de 22% das grandes barragens. Na figura 2.4 apresenta-se, como exemplo de barragens de betão tipo gravidade, as barragens do Alto Cávado e a de Crestuma (barragem móvel).



a) Barragem do Alto Cávado



b) Barragem de Crestuma

Fig. 2.4 - Barragem tipo gravidade (cnpqb.apambiente.pt)

2.3.2.2 Barragens tipo contrafortes

As barragens de contrafortes foram desenvolvidas a partir das barragem de gravidade, necessitando de uma quantidade de material muito inferior devido aos espaços entre os contrafortes. São adequadas tanto para vales estreitos como largos e devem ser construídas em fundação com boas características, rocha consistente.

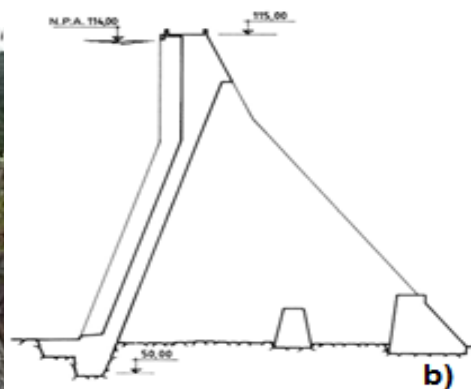
As barragens de contrafortes foram inicialmente desenvolvidas com o objetivo de armazenar água em regiões onde os materiais eram escassos e onerosos, mas que a mão-de-obra local era abundante e barata.

A sua estrutura resistente é constituída por uma série de contrafortes paralelos, em regra equidistantes entre si, de perfil triangular (fig. 2.5), sobre os quais apoia a estrutura de estanquidade.

A construção de barragens tipo contrafortes em Portugal não é muito comum, apenas estão registadas 5 obras deste tipo. Na figura 2.5 é apresentada a barragem de Pracana, contruída em 1950, que tem como finalidade produção de energia.



a) Vista de jusante para da barragem de Pracana.



b) Perfil esquemático da barragem de Pracana

Fig. 2.5 - Barragem tipo contrafortes (cnpqb.apambiente.pt)

2.3.2.3 Barragens tipo arco

As barragens do tipo arco (ou abóboda) são estruturas dotadas de uma grande esbelteza, com curvatura em planta com a convexidade voltada para montante. São concebidas de forma a transmitir o impulso da água principalmente para os encontros dos vales e não para o fundo, como acontece nas barragens de gravidade e contrafortes. Este tipo de barragens pode ser construído em única ou dupla curvatura, ou ainda em arcos múltiplos.

As barragens de dupla curvatura (horizontal e vertical) são utilizadas em vales de reduzida distância entre encostas. São estruturas esbeltas que necessitam de uma menor quantidade de material em comparação com as barragens de gravidade, mas necessitam de mão-de obra especializada.

As barragens construídas em vales largos, podem ainda ser constituídas por mais que um arco, designando-se arcos múltiplos. Na figura 2.6 apresenta-se, como exemplo, a barragem da Aguieira do tipo arcos múltiplos, formada por três arcos e dois contrafortes centrais, nos quais se situam dois descarregadores de cheia.

Quando as barragens em arco são mais espessas, são denominadas barragens do tipo arco gravidade. Estas tiram proveito do peso e da sua geometria em arco. Referem-se como exemplos deste tipo, as barragens de Picote (fig. 2.8b) e a de Castelo do Bode (fig. 2. 9).

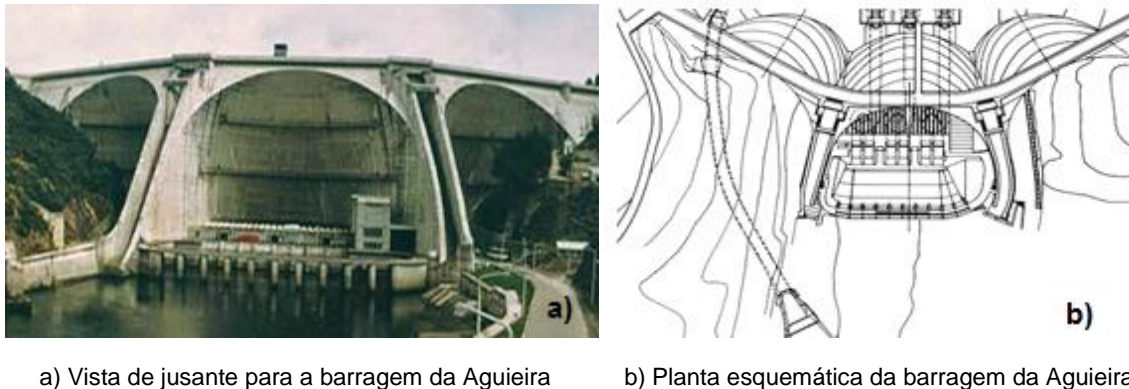


Figura 2.6 - Barragem tipo arcos múltiplos (cnpqb.apambiente.pt)

2.3.3 BARRAGEM DE BETÃO COMPACTADO COM CILINDRO

O betão compactado com cilindro (BCC) é constituído, tal como o betão convencional, por agregados com diferentes granulometrias, ligantes, água e, eventualmente, adjuvantes, mas difere-se pelo facto de ter um abaixamento muito reduzido, de forma a permitir, enquanto fresco, o trânsito de equipamentos pesados. São conseguidas vantagens económicas devido à rápida colocação em obra, usando técnicas construtivas similares às empregues nas barragens de aterro (Quintas 2002).

As barragens de betão compactado com cilindro diferem das de betão convencional, fundamentalmente, com base nos seguintes aspetos (Pinheiro 2001):

- Processo construtivo;
- Composição e mistura dos betões;
- Detalhes das estruturas que as integram.

A sua compactação é efetuada mediante a passagem de cilindros vibradores sobre camadas que vão sendo sucessivamente colocadas, e não como acontece nos betões em grandes massas em que é por imersão. Este método teve origem na procura de uma solução com rapidez de execução, em comparação com as barragens de aterro.

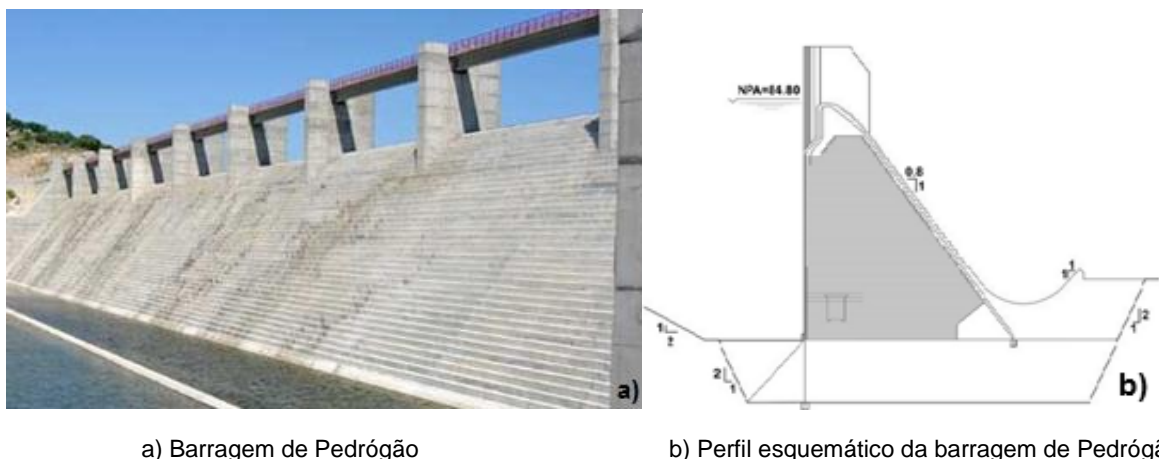


Fig.2.7 – Barragem de betão compactado com cilindro (BCC) - (cnpqb.apambiente.pt)

A barragem de Pedrógão é uma barragem do tipo gravidade, sendo a única construída em Portugal com betão compactado com cilindro (BCC). Esta barragem está integrada no empreendimento de fins múltiplos de Alqueva e visa não só o fornecimento de água para rega e a modulação dos caudais provenientes da barragem de Alqueva, mas também a produção de energia elétrica (figura 2.7).

2.4 ÓRGÃOS DE SEGURANÇA

Uma barragem é constituída por vários órgãos para além da estrutura de retenção da água, os quais desempenham um papel fundamental no seu funcionamento e no controlo de segurança.

Em termos de segurança, são órgãos indispensáveis o descarregador de cheias e a descarga de fundo, os quais podem ou não ser inseridos no corpo da barragem. Os descarregadores de cheias deverão permitir o escoamento de cheias sem ser necessário recorrer a outros dispositivos de descarga. São compostos por soleiras descarregadoras que têm como objetivo controlar e assegurar a eficiente descarga dos caudais. As descargas de fundo são destinadas a assegurar o esvaziamento total ou parcial da albufeira em caso de necessidade de reparações ou em situação de emergência, sendo constituídas por orifícios. Quer os descarregadores de cheias, quer as descargas de fundo, dispõem de órgãos de dissipação de energia, que têm como principal objetivo a dissipação do excesso de energia do escoamento a jusante das barragens.

A descarga através dos descarregadores de cheias pode ser livre ou controlada por comportas. As descargas de fundo dispõem sempre de equipamentos de obturação. As comportas constituem elementos de regulação e obturação incluindo, principalmente, três tipos: comportas planas, comportas segmento e comportas de charneira ou basculantes. As comportas planas são em forma de tabuleiro, com a face do lado de montante plana (fig. 2.8a). A sua abertura é feita por subida vertical do tabuleiro. As comportas segmento, ao contrário das planas, têm a face de montante com configuração circular e o seu acionamento processa-se por articulação de uns braços posicionados radialmente às comportas (fig. 2.8b). As comportas de charneira ou basculante são de acionamento basculante, articuladas na base. São utilizadas, normalmente, em descarregadores de superfície, com articulação sobre a soleira descarregadora (Quintela 1990).

No caso de barragens para abastecimento de água existirá, para além dos órgãos de segurança, um circuito hidráulico para derivação da água captada na albufeira. No caso de barragens para produção de energia existirá também uma central hidroelétrica que utiliza a água captada na albufeira.

2.4.1 TIPOS DE DESCARREGADORES DE CHEIAS

Um descarregador de cheias é um órgão que exige grande confiança. O seu funcionamento em más condições ou a sua insuficiência em relação aos caudais afluentes podem pôr em perigo a barragem, cuja destruição, mesmo que parcial, pode ter efeitos catastróficos, dependendo do volume da albufeira e da ocupação do vale a jusante.

O tipo de barragem e as características do fundo do leito do rio a jusante da mesma são as principais condicionantes na escolha do tipo de descarregador. Assim, numa barragem de aterro não se adotam soluções de descarregadores sobre a mesma ou através de orifícios ou condutas nela praticados, pois o efeito da erosão interna poderia levar à destruição do corpo da barragem. A altura da barragem determina a energia do escoamento e condiciona as soluções a adotar para a respetiva dissipação. As características geotécnicas da zona a jusante da barragem podem ou não exigir uma bacia de dissipação ou outra estrutura análoga.

Os descarregadores de cheias podem ser classificados quanto a dois aspetos (Quintela 1990):

- Localização e controlo do caudal (A);
- Guiamento da lâmina líquida e ao meio de dissipação de energia (B).

Os aspetos considerados na classificação anterior determinam a constituição geral dos descarregadores de cheias e as suas condições principais de funcionamento conforme se pode observar no quadro 2.1

Quadro 2.1- Descarregadores de cheia. Classificação e principais características (Pinheiro 2001)

Critério	Classificação	Aplicabilidade	Características
(A) Localização e controlo do escoamento	A.1. Sobre a barragem	Barragens de Betão	Descarga livre, por sifão ou controlada por comporta
		Barragens de aterro (descarregadores não convencionais)	Descarga livre
	A.2. Orifícios através da barragem	Barragens de betão	Descarga controlada por comportas
	A.3. Canal de encosta	Qualquer tipo de barragem	Descarga livre ou controlada por comportas
	A.4. Poço (vertical ou inclinado)	Barragem de terra ou de enrocamento (poço, seguido de galeria sob a barragem).	Descarga livre ou controlada por comportas
		Barragem de qualquer tipo (galeria escavada)	
(B) Guiamento da lâmina líquida e dissipação	A.5. Fusível	Qualquer barragem (de emergência, lateral à barragem).	Descarga livre
	Classificação	Características	
	B.1. Queda livre e dissipação de energia no leito	Com e sem proteção do leito, com ou sem sobrelevação do nível natural do rio. Localização e controlo segundo A.1 ou A.2.	
	B.2. Queda guiada e trampolim de saída com dissipação no leito	Com e sem proteção do leito, com ou sem sobrelevação do nível natural do rio. Localização e controlo segundo A.1, A.2, A.3 e A.4.	
	B.3. Queda guiada e obra de dissipação de energia	Localização e controlo segundo A.1, A.2, A.3 e A.4.	

2.4.1.1 Descarregadores sobre a barragem

Este tipo de descarregadores é comum em barragens de betão ou de alvenaria. A sua utilização em barragens de aterro é geralmente inviabilizada pela deformação da barragem e outros problemas de percolação, que levam à necessidade de descarregadores não inseridos no corpo da barragem.

Nos descarregadores sobre a barragem, a descarga pode ocorrer de forma livre ou então ser controlada através da instalação de comportas. O escoamento é feito em canal, apoiando-se sobre a barragem até atingir a estrutura de dissipação, em trampolim (fig. 2.8b) ou pode também atingir o leito sob a forma de jato (fig. 2.8a).



a) Barragem da Caniçada (geocaching.com)



b) Barragem de Picote (flengenharia.pt)

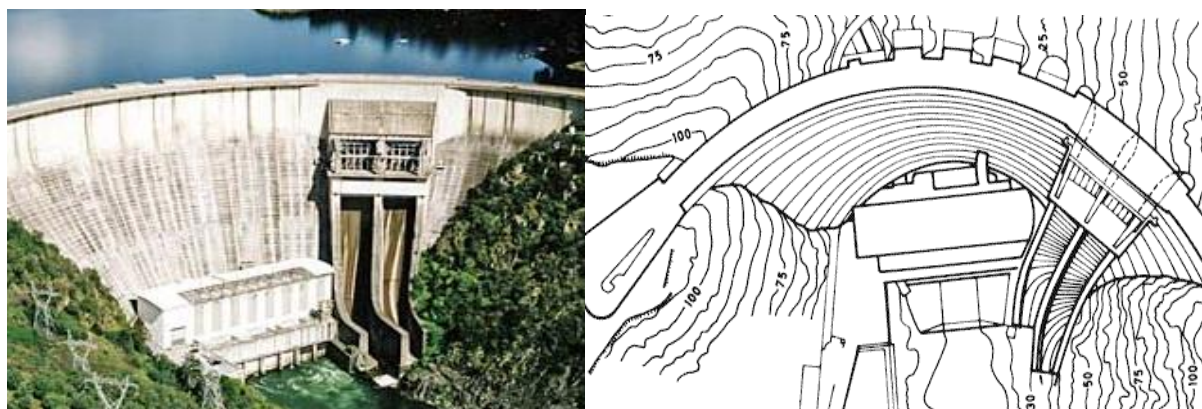
Fig. 2.8 – Descarregador sobre a barragem

2.4.1.2 Descarregadores em orifício

Os descarregadores de cheias por orifícios através de barragens são aplicáveis apenas em barragens de betão, sendo necessariamente controlados por comportas. Geralmente não existe qualquer guiamento da lâmina líquida e a proteção, ou não, do leito, depende da zona de queda do jato de descarga (mais ou menos afastado do leito da barragem) e das suas características geotécnicas.

Os jatos provenientes dos orifícios podem atingir o leito próximo da barragem ou numa zona mais a jusante, se a carga hidráulica a montante for elevada e a geometria dos orifícios assim o permitir. Enquanto no primeiro caso, são necessárias medidas para que não se verifiquem erosões que possam instabilizar a barragem, no segundo caso não é necessário recorrer à proteção do leito, dado que as erosões ocorrem suficientemente afastadas da barragem.

A barragem de Castelo do Bode dispõe de um descarregador de cheias deste tipo, controlado por duas comportas e com guiamento da lâmina líquida, como se pode verificar na figura 2.9.



a) Barragem de Castelo do Bode

b) Planta esquemática da barragem Castelo do Bode

Fig. 2.9 – Descarregadores por orifício (cnpgb.apambiente.pt)

2.4.1.3 Descarregadores em canal de encosta

A solução em canal de encosta pode ser aplicada a qualquer tipo de barragem, sendo muito frequente em barragens de aterro, especialmente de pequena e média dimensão.

O canal é geralmente de secção retangular e perfil longitudinal contínuo. A construção de uma soleira com degraus, que promove o aumento da dissipação de energia ao longo do canal, tem vindo a ganhar notoriedade apesar de não se verificar, ainda, uma utilização muito frequente. O canal deverá localizar-se nas encostas das margens do aproveitamento, podendo o escoamento ser controlado por comportas. A lâmina líquida é conduzida pelo próprio canal que termina, geralmente, num trampolim de lançamento. Esta solução, geralmente, não obriga à construção de uma obra de dissipação (Pinheiro 2001).

Na figura 2.10 apresenta-se o exemplo da barragem do Sabugal. É uma barragem de aterro de perfil zonado, que dispõe de descarregador de cheias em canal de encosta, localizado na margem direita.



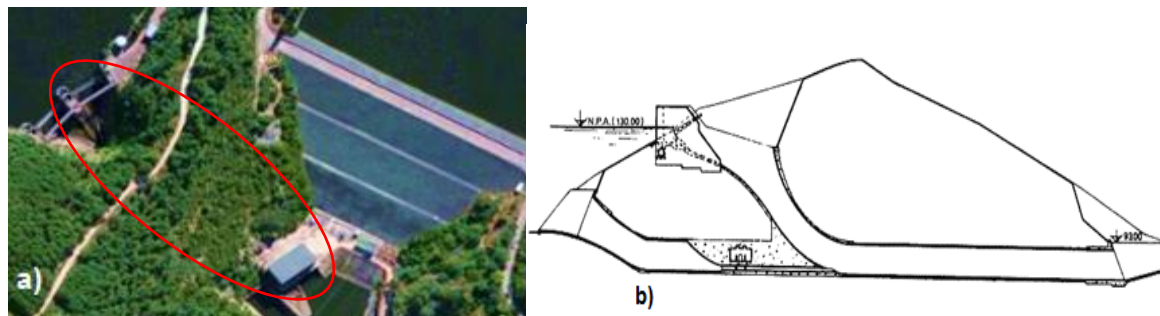
Fig. 2.10 - Descarregador em canal de encosta. (cnpgb.apambiente.pt)

2.4.1.4 Descarregadores em poço

Este tipo pode ser aplicado em qualquer barragem apesar de, dadas as suas características, ser especialmente indicado para barragens de aterro. A água é recolhida por um poço de entrada, seguido

por uma galeria sob a barragem ou um túnel localizado numa das encostas. Este tipo de descarregadores tem a vantagem de permitir o aproveitamento das condutas ou túneis, que, na primeira fase da obra, foram utilizados para desvio provisório do rio.

A figura 2.11 diz respeito à barragem do Maranhão. É uma barragem de aterro de perfil zonado, que dispõe de descarregador de cheias em poço, localizado na margem direita.



a) Vista aérea da Barragem do Maranhão (bing.com/maps)
b) Perfil do descarregador cheias (cnpqb.apambiente.pt)

Fig. 1.11- Descarregador em poço.

2.4.1.5 Descarregadores fusíveis

Os descarregadores fusíveis são órgãos de emergência utilizados nos casos em que os caudais de cheia são tão elevados que podem colocar em perigo a barragem ou outras obras anexas.

Em geral são constituídos por um aterro de pequena altura, colocado sobre uma soleira de betão não revestida. Quando o aterro é galgado, inicia-se a passagem livre dos caudais afluentes.

2.4.1.6 Descarregadores não convencionais

Este tipo de descarregadores surge devido à necessidade de reduzir os custos de construção. Nesse sentido, do ponto de vista hidráulico, existe interesse em dissipar uma parte da energia do escoamento ao longo do canal do descarregador. Assim, os descarregadores não convencionais podem ser considerados de dois tipos (Pinheiro 2001):

- Em túnel ou canal com soleira não revestida, apresentando rugosidade elevada;
- Com soleira em degraus.

As principais condicionantes, em relação aos descarregadores não revestidos, são a qualidade da rocha de fundação, a frequência de funcionamento do descarregador com caudais elevados e o caudal específico de dimensionamento. Deve-se referir que em Portugal não existem descarregadores não revestidos de dimensão apreciável.

No que se refere à localização, os estudos sobre descarregadores não convencionais têm incidido sobre a possibilidade de construir este órgão sobre o corpo da barragem, reduzindo substancialmente o comprimento da obra em comparação com a opção de construir um canal numa das encostas (Pinheiro, 2007).

2.4.2 SOLEIRAS DESCARREGADORAS

As soleiras descarregadoras constituem uma parte muito importante dos descarregadores de cheias, assumindo significativa importância no seu projeto, pois devem assegurar o controlo e a eficiente descarga dos caudais de cheia previstos.

Segundo Pinheiro (2007), a seleção do tipo de soleira descarregadora deve atender aos seguintes aspetos:

- As soleiras de diretriz não retilínea (labirinto) são preferíveis sempre que não se preveja a colocação de comportas, dado que para a mesma largura do canal em que se inserem, apresentam maior coeficiente de vazão;
- Sempre que se preveja a colocação de comportas, a escolha deverá recair sobre soleiras do tipo WES;
- Para reduzir as escavações na encosta, as soleiras descarregadoras (WES ou labirinto) podem ser dispostas segundo o eixo do canal, que funcionará como coletor lateral.

Em relação ao desenvolvimento da soleira, a sua largura é definida com base na cheia de dimensionamento do descarregador e nos condicionamentos eventualmente existentes, relativos à altura máxima da barragem e ao volume da albufeira (Pinheiro, 2007).

As soleiras descarregadoras podem ser designadas como espessas, quando a lâmina líquida descarregada contacta com a soleira ao longo de uma superfície de comprimento apreciável, e delgadas quando a lâmina líquida contacta apenas ao longo de uma aresta ou de uma superfície de pequeno desenvolvimento.

No quadro 2.2 são apresentados, sumariamente, os principais tipos de soleiras existentes.

2.4.3 DESCARGAS DE FUNDO

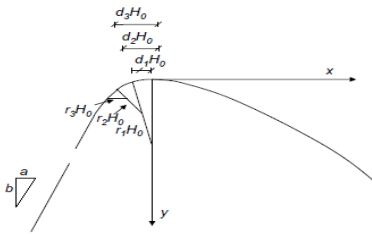
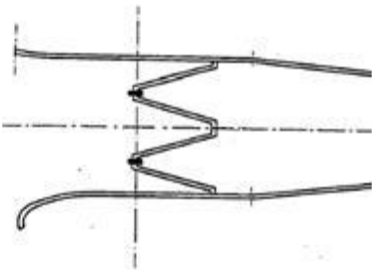
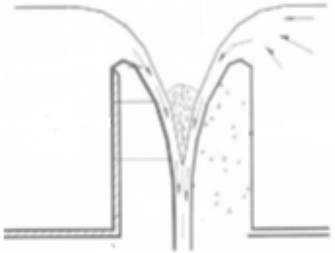
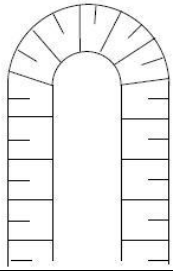
As descargas de fundo são órgãos destinados a assegurar as seguintes funções principais (Quintela 1990):

- Esvaziamento total ou parcial da albufeira, em caso de emergência ou de necessidade de reparações;
- Controlo da subida de nível da água na albufeira durante o seu primeiro enchimento, período em que se tem verificado grande parte dos acidentes em barragens.

As descargas de fundo podem ainda ser utilizadas para provocar correntes de varrer para evacuação de sedimentos acumulados no fundo das albufeiras. Com uma albufeira total ou parcialmente cheia, o efeito da evacuação de sedimentos limita-se, em virtude das baixas velocidades do escoamento, a uma zona muito restrita, nas imediações da entrada para a descarga de fundo.

Nas barragens de aterro, as descargas de fundo podem ser constituídas por galerias escavadas nas encostas, contornando a barragem, ou por condutas contruídas implantadas sob o aterro barragens. No caso das barragens de betão, as descargas de fundo atravessam, normalmente, o corpo da barragem e são frequentemente blindadas, devido à elevada velocidade do escoamento (Quintela, 1990).

Quadro 2.2 - Tipos de soleiras descarregadoras (adaptado Pinheiro 2001).

Tipo de Soleira	Descrição	Esquema
Soleira espessa tipo WES	Esta soleira apresenta, em corte, um traçado em curva convexa em função da carga hidráulica H_0 e do declive do paramento de montante. É o tipo de soleira mais utilizado nas descargas de cheias.	
Soleira em labirinto	Uma soleira descarregadora em labirinto apresenta um traçado poligonal, possibilitando um desenvolvimento da crista superior à largura do canal em que está inserida. É uma soleira de parede fina e geralmente é constituída por um ou mais módulos podendo apresentar diferentes secções transversais.	
Soleira Circular	Este tipo de soleira pode apresentar-se com parede delgada ou com parede espessa. A vazão depende da secção de controlo do escoamento, que pode situar-se na soleira descarregadora ou na conduta, no caso de o escoamento ser sob pressão.	
Soleiras em bico de pato	Este tipo de soleira espessa apresenta uma geometria em planta constituída por dois troços retos e um troço circular. O objetivo desta forma de traçado é o mesmo que o das soleiras em labirinto, ou seja, aumentar o comprimento da crista descarregadora em relação à largura do curso de água ou canal em que estão colocadas.	

2.4.4 ÓRGÃOS DE DISSIPAÇÃO DE ENERGIA

O excesso de energia dos escoamentos requer que se prevejam obras onde ocorra a dissipação da mesma, de modo a que a elevada intensidade de turbulência gerada no processo de dissipação, não provoque danos nas obras ou erosões inaceitáveis no leito do rio de jusante.

Existem vários tipos de estruturas de dissipação de energia que se adaptam às barragens e aos órgãos de segurança. A escolha do tipo de estrutura, não deve ter em conta apenas os critérios técnicos, mas também os aspetos económicos (Pinheiro 2006).

A dissipação de energia dá origem a escoamentos macroturbulentos, podendo estes ocorrer em obras de betão concebidas para essa finalidade ou em contato com o leito do curso da água. Neste último caso, há que tomar medidas para que as erosões ocorram em local suficientemente afastado do pé da barragem.

Os órgãos de dissipação de energia mais habituais são (Pinheiro 2006):

- Bacias de dissipação de energia por ressalto;
- Conchas de rolo;
- Trampolins;
- Jatos.

Em seguida, apresentam-se detalhadamente os aspetos referidos.

2.4.4.1 BACIAS DE DISSIPAÇÃO POR RESSALTO

As bacias de dissipação de energia por ressalto podem apresentar vários tipos de geometria e ser dotadas ou não de blocos destinados a melhorar o seu desempenho. Nos casos mais tradicionais, apresentam secção transversal retangular de largura constante com os seguintes assessorios (Pinheiro 2006):

- Blocos de queda que promovem a dissipação de energia através da fracturação da lâmina líquida;
- Blocos de impacto que possibilitam reduzir substancialmente o comprimento do ressalto, sempre que a velocidade do escoamento a montante o permita;
- Soleira terminal que contribui para fixar o ressalto no interior da bacia de dissipação de energia e reduzir o comprimento do ressalto.

Foram desenvolvidos por organismos de investigação vários estudos, complementados por observações em protótipos, com o objetivo de facilitar o dimensionamento das bacias de dissipação por ressalto.

Na figura 2.12 está representada uma bacia de dissipação por ressalto hidráulico dotada de blocos de queda, de blocos de impacto e de soleira terminal em rampa ascendente.

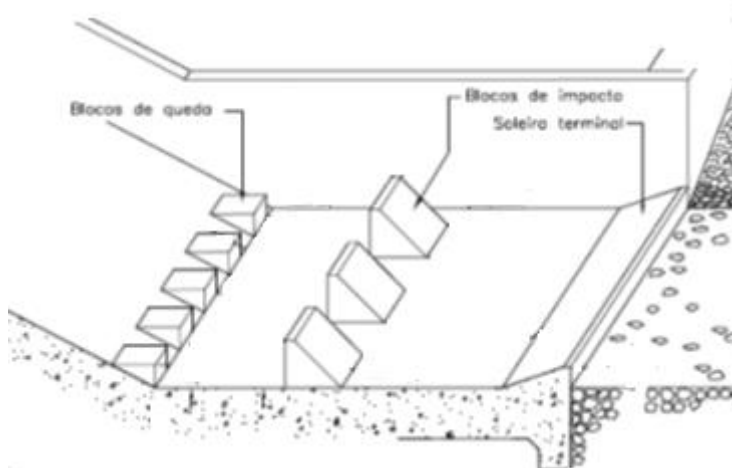


Fig. 2.12 - Esquema de bacia de dissipação de energia por ressalto hidráulico (adaptado BUREC)

2.4.4.2 CONCHAS DE ROLO

O perfil longitudinal deste dissipador, em forma de concha, promove a formação de um turbilhão de grande dimensão, de eixo horizontal, designado por rolo, que promove a dissipação de energia do escoamento (fig.2.7b) (Pinheiro 2001).

Se não existirem blocos que fraturem a veia líquida, tornando o escoamento claramente tridimensional, toda a corrente é dirigida para o lábio da concha, criando um cachão na superfície da água e um rolo de jusante violento e junto ao fundo. A violência do cachão e do rolo de fundo dependem do nível a jusante, sendo mais significativa para níveis baixos. A barragem do Alto Cávado dispõe de concha de rolo com blocos de impacto (figura 2.4a).

2.4.4.3 BACIAS DE DISSIPAÇÃO DE JATOS

As bacias de dissipação de jatos têm como principal objetivo a absorção da energia libertada pela ação dinâmica causada pelo jato.

As bacias de dissipação de energia podem ser revestidas por lajes de betão ou dar lugar a uma fossa de erosão.

A solução a adotar dependerá (Quintela 1990):

- Da energia que se pretende dissipar por unidade de área da zona do impacto do jato;
- Das características geomecânicas do maciço rochoso;
- Da localização da zona de impacto.

No caso de bacias de dissipação revestidas, é necessário ter em conta a estabilidade face às variações de pressões resultantes da elevada turbulência causada pelo jato e às consequências das ações hidrodinâmicas atuantes na face superior das lajes e suscetíveis de se transmitirem à face inferior.

No caso de bacias não revestidas ou fossas de erosão, tem de se assegurar que a localização dos jatos seja adequada em relação às estruturas adjacentes e que a sua profundidade seja aceitável.

A construção dos órgãos de segurança em que a dissipação de energia se efetua no leito natural, em forma de fossa de erosão, é uma solução frequente sempre que as condições locais o permitem.

2.4.4.4 TRAMPOLINS

A função de um trampolim ou salto de esqui é a de afastar do pé da barragem e das obras anexas o jato de água proveniente dos órgãos de segurança, orientando-o para uma zona do leito onde se considere admissível o desenvolvimento da fossa de erosão. Existe este tipo de órgão de dissipação nas barragens de Aguieira, Picote e Castelo do Bode (figuras 2.6, 2.8b e 2.9, respetivamente).

A orientação do jato pode ser apenas em perfil, não havendo, neste caso, mudança de direção em planta do escoamento, ou em perfil e em planta (figura 2.9b). Neste último caso, o trampolim apresenta uma configuração tridimensional, em detrimento da configuração bidimensional (Pinheiro 2001).

O trampolim pode ainda ser dotado de soleiras terminais com o objetivo de fraturar o jato.

O escoamento num trampolim é, normalmente, desafoado.

2.5 CONDICIONAMENTOS DA SELEÇÃO DO TIPO DE BARRAGEM

Na seleção da solução mais adequada, tem de se considerar não só a barragem, como também as obras anexas, ou seja, o descarregador de cheias a descarga de fundo, tomada de água, central hidroelétrica (caso existam) e as obras de desvio provisório durante a construção.

Aspetos importantes na consideração da escolha do tipo de barragens são a topografia e as características geológicas e geotécnicas do local (Quintela 1990).

Por exemplo, uma barragem alta a construir num vale estreito e rochoso provavelmente será de betão em arco, com o descarregador de cheias, descarga de fundo e tomada de água incorporados na barragem. Por outro lado, uma barragem a construir num vale largo poderá ser de aterro, caso haja abundância de solo de qualidade nas proximidades, com descarregador de cheias independente do corpo da barragem mas também poderá ser de betão do tipo gravidade.

As características geológicas e geotécnicas são também um aspeto importante para as condições de fundação de qualquer tipo de barragem. Deverão ser tidos conta o estado de alteração, a fracturação, a permeabilidade e a deformabilidade e a resistência mecânica do maciço.

Segundo o *BUREAU OF RECLAMATION* (1974), as formações mais correntes encontradas para fundação apresentam os seguintes condicionamentos:

- Rocha sã - devido à elevada resistência mecânica e dificuldade de percolação e de erosão interna, as fundações deste tipo poucas limitações oferecem para qualquer tipo de barragem. No entanto, é necessária a remoção de rocha decomposta, sendo frequente em grandes barragens injetar as fraturas da rocha.
- Seixos – este tipo de fundações, caso compactado, é adequado para barragens de aterro, quer para terra ou enrocamento, e barragens de gravidade de pequena altura. Devem ser tomadas precauções relativamente à erosão interna.
- Siltes e areias finas – este tipo de fundações pode ser usada para barragens de aterro e gravidade de pequena altura, podendo surgir problemas nas de enrocamento. As preocupações principais incluem assentamentos, percolação excessiva e consequente erosão interna.
- Argilas – As fundações de argila permitem a adoção de barragens de terra, mas requerem tratamento especial. Apresentam assentamentos consideráveis, especialmente se a argila é

não consolidada e contém elevada percentagem de humidade. Não são adequadas para barragens de betão nem de enrocamento.

2.6 BARRAGENS PORTUGUESAS

A Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens (CNPGB) publicou, em 1992, o documento intitulado "Large Dams in Portugal", o qual compreende uma descrição sumária de todas as grandes barragens construídas até aquela data.

Contudo, na página informática daquela comissão (cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/) encontram-se disponíveis alguns dados relativos às 231 grandes barragens atualmente em exploração no nosso país, embora mais completos apenas de 170 barragens. A informação referida serviu de base para a análise seguidamente apresentada.

De acordo como RSB, são consideradas como grandes barragens as que apresentam as seguintes características (RSB): as barragens de altura igual ou superior a 15m, ou as de altura igual ou superior a 10m cuja albufeira tenha uma capacidade superior a 1hm^3 , bem como as barragens de altura inferior a 15m cuja albufeira tenha uma capacidade superior a $100\,000\text{m}^3$ e outras barragens que apresentem elevados danos potenciais. As restantes barragens são classificadas como pequenas barragens.

Em Portugal, as grandes barragens estão localizadas principalmente nos distritos de Bragança, Vila Real, Setúbal e Évora (fig. 2.13). Dada a morfologia do território português, na metade superior predominam as formações rochosas e vales mais apertados, sendo predominantes as soluções de betão. Por outro lado, como a zona sul é mais plana e abundam solos, é mais propícia para barragens de terra.



Fig.2.13 – Localização das grandes barragens em Portugal (cnpqb.apambiente.pt)

No Norte do país, onde os recursos hídricos são mais abundantes, e construíram-se aproveitamentos, quer de regularização quer a fio-de-água, para produção de energia. Na região Sul e interior a maioria das barragens existentes têm como finalidade o fornecimento de água para rega.

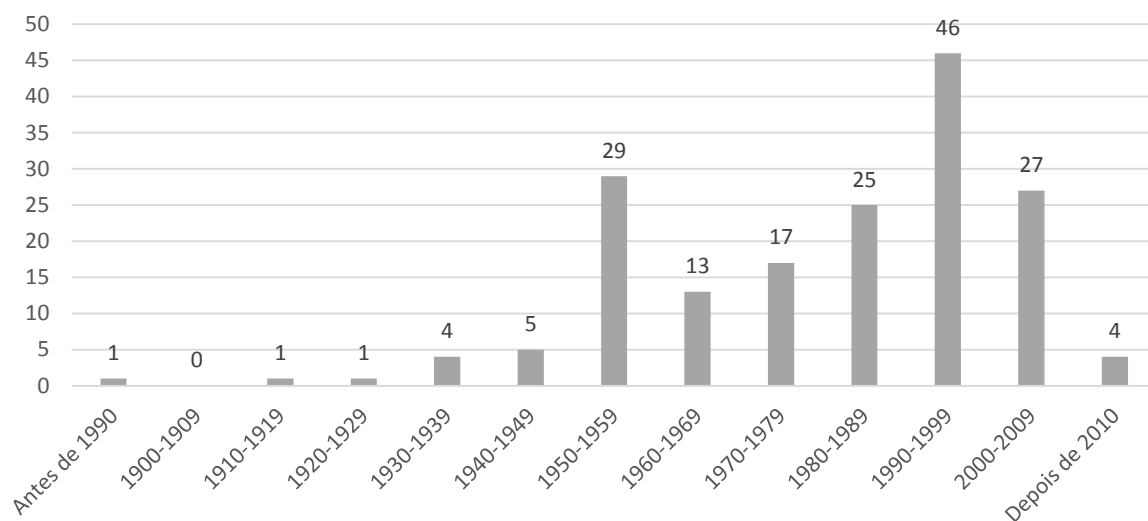


Gráfico 2.1 – Construção das grandes barragens em Portugal

No gráfico 2.1 foram considerados os dados disponíveis relativos a 173 barragens, das 231 registadas na CNPGB. Verifica-se, pela análise do gráfico que nas décadas de 50 a 90 a construção de grandes barragens em Portugal foi mais acentuada. A partir da década de 90 a construção tem vindo a diminuir substancialmente. Apesar dos recursos hídricos disponíveis em Portugal, prevê-se que a construção de novas barragens continue a diminuir, visto que a construção de novas barragens depende sobretudo de fatores económicos.

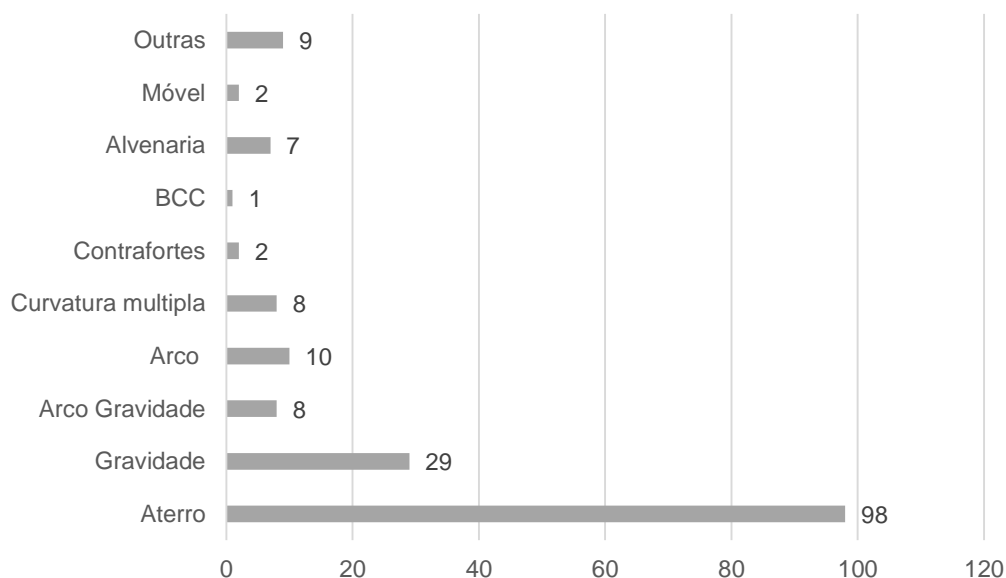


Gráfico 2.2 – Tipos de grandes barragens em Portugal

No gráfico 2.2 apenas foram considerados dados disponíveis relativos a 174 barragens das 231 registadas na CNPGB.

Em Portugal, de uma forma mais generalizada, foram as barragens de alvenaria e betão as primeiras a ser utilizadas. A partir da década de 70, houve um aumento da construção de barragens de terra, devido à redução de custos, decorrente da evolução tecnológica dos equipamentos mecânicos utilizados na escavação, transporte, espalhamento e compactação dos materiais (Quintela 2000.)

Em Portugal, as barragens de aterro correspondem a cerca de 56%, seguidas das de betão tipo gravidade. Por outro lado, as barragens em BCC e as barragens móveis são as menos comuns.

Na designação outras do gráfico 2.2 estão incluídas barragens compostas por diferentes tipos de material, ou estruturas, como por exemplo a barragem do Roxo em Aljustrel que é composta por uma zona em terra homogénea e outra em betão (contraforte e gravidade) (Fig.2.14).



Fig. 2.14 – Barragem do Roxo (portugalfotografiaaerea.blogspot.pt)

No gráfico 2.3 apenas foram considerados os dados disponíveis relativos a 172 barragens das 231 registadas na CNPGB.

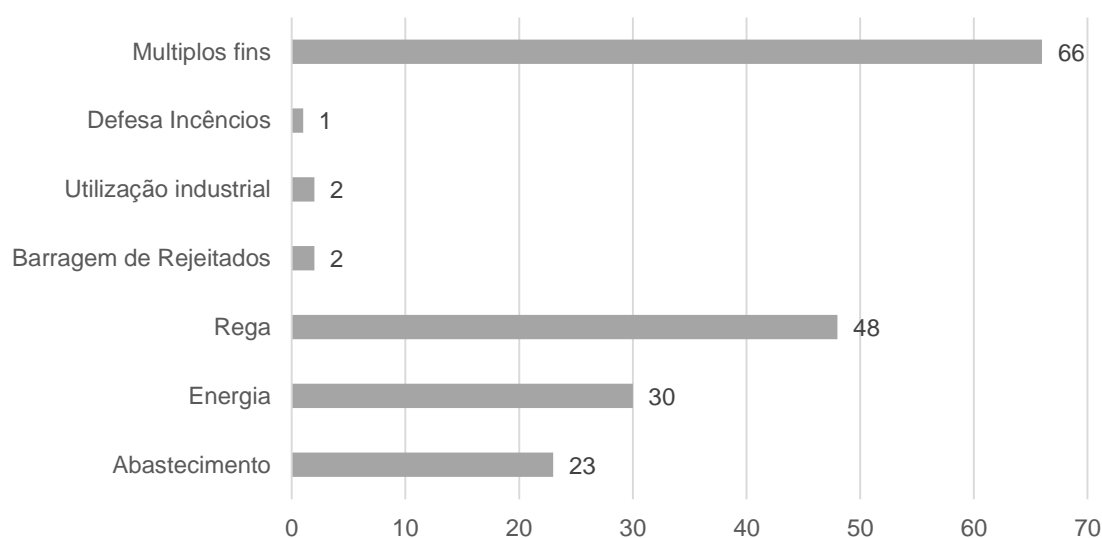


Gráfico 2.3 – Finalidade das grandes barragens em Portugal

As barragens de múltiplos fins representam uma parcela importante do conjunto das obras, e estão cada vez mais associadas ao desenvolvimento da região onde se inserem. É também significativo o número de barragens para rega e produção de energia como único fim. Em Portugal, um considerável número de grandes barragens inicialmente construídas para um único fim, vão acolhendo outros usos, particularmente o de abastecimento às populações, mas também usos recreativos e navegação.

2.6 BARRAGENS A NÍVEL MUNDIAL

A Comissão Internacional de Grandes Barragens (*International Commission on Large Dams - ICOLD*) tem a melhor base de dados sobre as barragens em todo o mundo, que publica a informação fornecida pelos diferentes países.

Segundo os dados do ICOLD estão registadas atualmente em todo o mundo 58 266 grandes barragens. Esta Comissão define como grandes barragens aquelas que apresentam as seguintes características:

- Barragens com mais de 15 m de altura total;
- Barragens com altura compreendida entre 10 e 15 m, desde que apresentem uma ou mais das seguintes características:
 - Capacidade da albufeira superior a 1 milhão de m³
 - Desenvolvimento do coroamento superior a 500 m
 - Caudal de ponta de cheia de dimensionamento superior a 2000 m³/s
- Características especiais de conceção e fundação.
- Barragens com altura compreendida entre 5 e 15 m e com capacidade de armazenamento superior a 5 milhões de m³.

A título de exemplo e comparação, apresentam-se seguidamente de forma muito genérica os tipos de uso e os tipos construtivos do universo das barragens em todo o mundo.

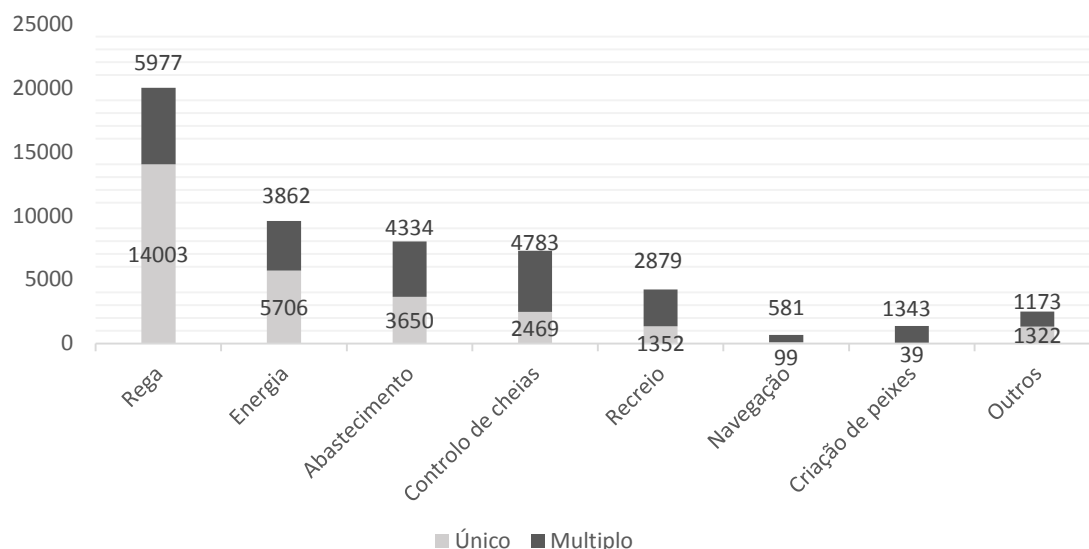


Gráfico 2.4 – Finalidade das grandes barragens a nível mundial (icold-cigb.org)

Pela análise do gráfico verifica-se que:

- Barragens de uso único: 28 640 (49,2%)
- Barragens de uso múltiplo: 24 932 (42,8%)

Os números totais de barragens registadas e o número de barragens do universo do gráfico 2.4 não são coerentes. Ou seja, das 58 226 grandes barragens registadas somente 53 572 fazem parte deste universo. Esta diferença de valores deve-se sobretudo à ausência de informação que é fornecida pelos vários países ao ICOLD.

Tal como acontece em Portugal, também as principais finalidades incluem rega, seguida de produção de energia e abastecimento. As barragens de múltiplos fins representam cada vez mais uma parcela muito importante, pois as barragens inicialmente construídas para um único fim, vão acolhendo outros usos.

Como se pode verificar no gráfico 2.5 as barragens de terra correspondem a cerca de 63% de todas as barragens inventariadas. Este é, como foi referido, o tipo de barragem mais antigo. Além disso, este tipo de barragem pode acomodar uma ampla gama de diferentes fundações, e são relativamente mais económicas pois, em muitos casos o material utilizado na construção advém da albufeira.

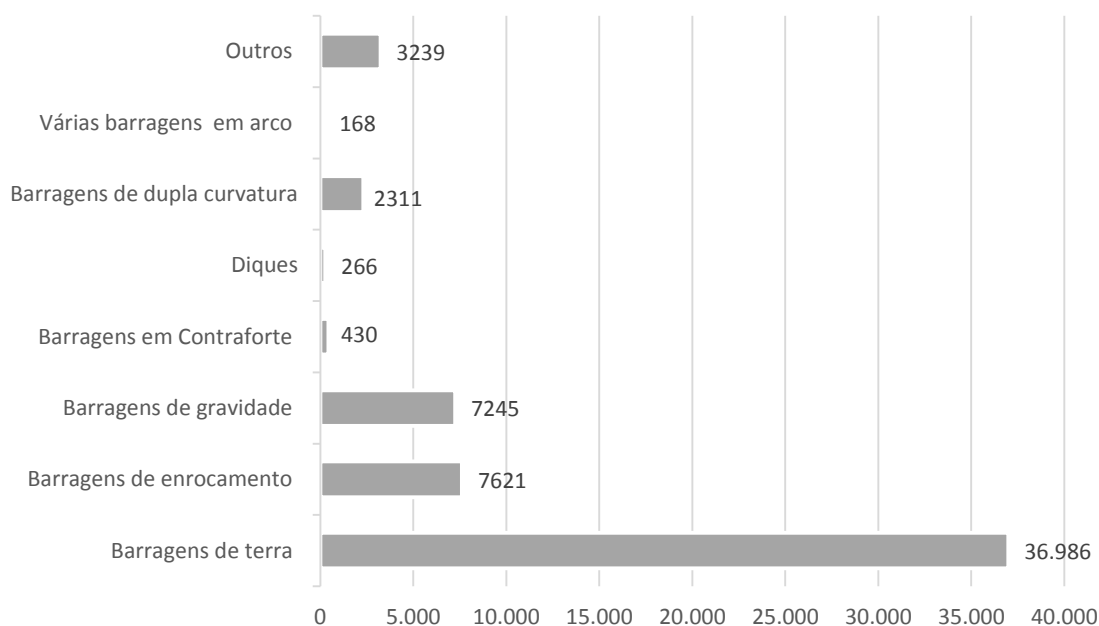


Gráfico 2.5 – Tipos de grandes barragens a nível mundial (icold-cigb.org)

As necessidades mundiais de água para utilização doméstica, urbana, industrial, agrícola e produção energéticas têm crescido continuamente em consequência do desenvolvimento da sociedade, tornando cada vez mais exigente a gestão dos recursos hídricos.

3

IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL

3.1 INTRODUÇÃO

As barragens estão entre as mais importantes realizações do Homem, ultrapassando geralmente outras construções em volume e em custo, mas também em impacto ambiental e social.

Como se compreende, não há construções absolutamente seguras, o mesmo se pode dizer das barragens. Embora os projetos sejam mais detalhados, técnicas de construção mais avançadas e métodos de manutenção mais monitorizados, acidentes ou incidentes de barragens ainda se têm vindo a verificar.

Paralelamente à evolução tecnológica e experiência adquirida, nos domínios do projeto, construção e observação, que permite garantir um elevado grau de segurança na maioria das barragens existentes, tem-se desenvolvido, ao longo do tempo, uma consciencialização da existência de um risco potencial. Esta consciencialização tem sido reforçada pelos acidentes ocorridos em barragens.

Um pouco por todo o mundo, têm ocorrido acidentes de elevadas proporções, ocasionando perda de vidas humanas, elevados prejuízos materiais e ambientais, o que felizmente, até à data, não aconteceu em Portugal.

Atendendo ao elevado número de barragens, 58 266, pode afirmar-se que comparativamente com outros tipos de estruturas, os acidentes graves têm ocorrido em, relativamente, pequeno número.

O presente capítulo tem como objetivo a sensibilização para a importância da segurança hidráulico-operacional das barragens. Recorre-se à análise estatística de dados disponíveis a nível mundial para mostrar que a segurança hidráulico-operacional é um fator crucial para o bom funcionamento de uma barragem, já que as principais causas de acidentes e ruturas em barragens se devem à incapacidade de vazão dos descarregadores de cheias e ao deficiente funcionamento dos equipamentos neles instalados. Por fim, refere-se, muito sinteticamente, um programa de reavaliação da segurança de grandes barragens em Portugal.

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DETERIORAÇÕES E RUTURAS DE BARRAGENS

A análise de dados estatístico relativos a deteriorações são de grande utilidade para as entidades responsáveis pelo controlo de segurança, pois fornecem uma perspetiva dos problemas mais comuns que ocorrem nas barragens. Além disso, a recolha de informação a partir de casos históricos constitui um importante alerta quanto à possibilidade de acontecerem situações similares.

A análise da informação disponível relativa a incidentes e acidentes revela que estes são devidos, muito frequentemente, a erros que poderiam ter sido evitados, ou a deficiências de projeto, construção ou exploração, ou ainda, resultado da conjugação de vários fatores desfavoráveis.

3.2.1 CENÁRIOS DE DETERIORAÇÃO

3.2.1.1 Cenários de deterioração de barragens

Pode considerar-se como deterioração uma condição ou circunstância que altera o estado do funcionamento ou segurança. Ao longo da vida das barragens, desde a construção até à demolição ou abandono, a ocorrência de deteriorações devidas à falta de monitoramento e manutenção foram, em grande parte, responsáveis pela ocorrência de acidentes graves.

Existem atualmente, segundo os dados da ICOLD, cerca de 58 266 grandes barragens em exploração, sendo que a maior parte destas obras foram construídas maioritariamente durante o século XX. A ICOLD é responsável pelos mais importantes trabalhos de recolha, análise e síntese da informação relativa à segurança em barragens. Destacam-se alguns trabalhos realizados por comités técnicos desta organização ao longo das últimas décadas sobre análise estatística dos principais cenários de deterioração e ruturas em barragens.

De acordo com a publicação de 1983 da ICOLD, em um universo de 14 600 barragens construídas em 33 países até 1975, verificou-se a existência de 1014 casos de deteriorações. Esta amostragem correspondia a cerca de 92% das barragens construídas em todo mundo, excluindo a China. Sublinha-se a existência de 6,9% de deteriorações, ou seja, uma em cada quinze barragens uma sofreu deteriorações. Estudos mais recentes elaborados no âmbito de deteriorações em barragens indicam que este número tem vindo a diminuir.

Os cenários mais frequentes de deterioração em barragens de betão e de alvenaria podem ser classificados em três grandes grupos, nomeadamente (Oliveira 2001):

- Os que afetam em especial os maciços rochosos da fundação, bem como os materiais usados no seu tratamento;
- Os que afetam os materiais do corpo da barragem, o betão e a alvenaria;
- Os que estão associados à degradação de outros elementos estruturais da barragem, nomeadamente, degradação das juntas de retração.

Destes cenários de deterioração destacam-se, a degradação devida a reações químicas, perda de resistência devido às ações permanentes e falta de resistência às ações de gelo e degelo. Particularmente, as barragens construídas em betão compactado com cilindro apresentam, como problemas mais críticos, fendilhação de origem térmica e as infiltrações em juntas e fendas.

Nas barragens de aterro (terra e enrocamento), destacam-se três grupos de deterioração, nomeadamente (Oliveira 2001):

- Os relativos às fundações, em regra solos ou maciços rochosos alterados;
- Os relativos aos aterros do corpo da barragem;

- Outros elementos estruturais, nomeadamente, degradação dos sistemas de impermeabilização.

Dos grupos de deterioração acima indicados destaca-se a erosão interna do corpo e fundação e degradação dos materiais do aterro, por se terem observado com mais frequência.

Para as albufeiras e vales a jusante das barragens, destacam-se os cenários de deterioração associados a problemas geológicos e geotécnicos e a problemas hidráulicos. No que diz respeito a albufeiras, os cenários mais comuns são a estabilidade de taludes, queda de rochas, assoreamento e qualidade da água, associada a problemas de eutrofização e de salinização. Relativamente aos cenários de deterioração dos vales a jusante, destaca-se a estabilidade de taludes causada pelo impacto do jato do descarregador de cheias.

Para cada tipo de barragem, deve procurar-se evitar a ocorrência de deteriorações por intermédio de adequadas medidas preventivas, no entanto, podem desenvolver-se cenários não previstos, pelo que, estas obras devem ser instrumentadas e adequadamente inspecionadas e observadas ao longo da sua vida.

3.2.1.2 Cenários de deterioração dos órgãos de segurança e exploração

Os órgãos de segurança e exploração das barragens são, normalmente, constituídos por estruturas de betão, por vezes de grande porte. Nestas estruturas verificam-se, de uma forma geral, cenários de deterioração associados ao comportamento estrutural que são análogos aos atrás indicados, para barragens de betão, nomeadamente, degradação devida a reações químicas.

Além de um adequado comportamento estrutural, os órgãos de segurança e exploração das barragens devem, também, assegurar um adequado funcionamento hidráulico-operacional, nomeadamente, no controlo de cheias e no esvaziamento total ou parcial da albufeira. Assim, nestes órgãos, podem-se desenvolver os seguintes cenários de deterioração (Oliveira 2001):

- Problemas com o funcionamento de comportas e outros equipamentos, originados por deficiências de projeto, ou devido a problemas de conservação e manutenção;
- Erosão por abrasão devida a materiais transportados pela água, em regra em bacias de dissipação de energia, em soleiras descarregadoras ou a jusante de comportas, em descarregadores de cheias e descargas de fundo;
- Erosão devida à ação direta dos jatos da água, em regra no maciço rochoso, a jusante dos descarregadores de cheias;
- Erosão associada a fenómenos de cavitação, em bacias de dissipação de energia descarregadores de cheias e pilares, nomeadamente por deficiências de traçado ou falta de arejamento;
- Obstrução ao escoamento provocada por materiais transportados pela água, particularmente, em grelhas, canais e tomadas de água.

Os cenários de deterioração referidos, associados ao comportamento hidráulico-operacional dos órgãos de segurança e exploração, foram identificados na análise de 181 casos e estão representados, por frequência de ocorrência, no gráfico 3.1. De acordo com este gráfico, a incapacidade de vazão dos órgãos de descarga e os problemas com comportas e outros equipamentos correspondem aos cenários de deterioração mais frequentes.

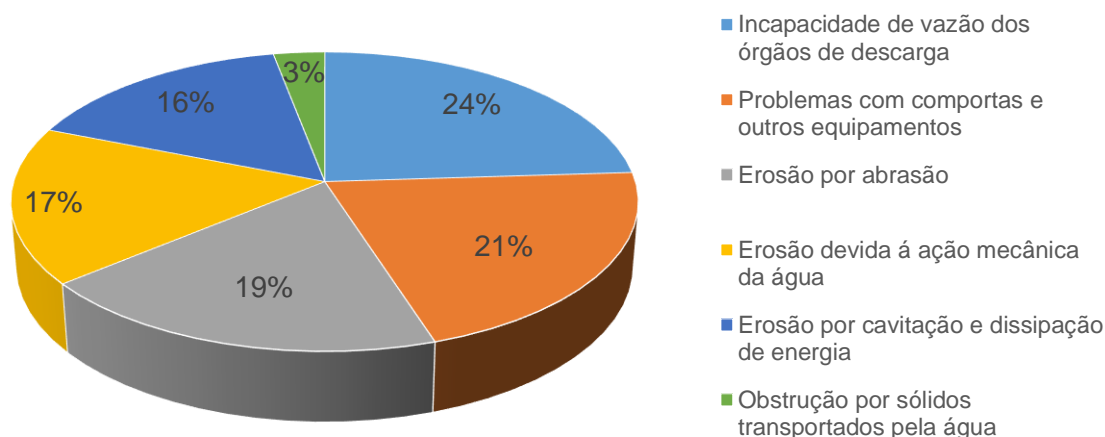


Gráfico 3.1 – Principais cenários de deterioração dos órgãos de segurança e exploração (Oliveira 2001)

3.2.2 RUTURA EM BARRAGENS

Em casos extremos, a deterioração de barragens acompanhada de falta de manutenção, poderá levar à rutura da mesma. Devem ser asseguradas medidas preventivas adequadas não só de projeto, construção, exploração e observação, mas também de conservação e manutenção, de modo a evitar o desenvolvimento desta situação ou, pelo menos, minimizar as suas consequências.

3.2.2.1 Causas mais frequentes de ruturas

A rutura de barragens pode resultar de diversas causas naturais (sismos, cheias extremas) ou provocadas por causas antropogénicas, causadas por atos de guerra ou sabotagem, assim como, erros de projeto ou construção, atuações incorretas na exploração ou condições deficientes de manutenção ou de exploração dos equipamentos hidráulicos.

As causas que têm dado origem a ruturas são, em geral, múltiplas e correlacionadas. Para se ter em conta as várias combinações possíveis, normalmente, as causas de ruturas representam-se em diagramas do tipo árvore, relacionando as possíveis combinações.

De acordo com a publicação de 1983 da ICOLD, já anteriormente referida, entre as várias causas possíveis de rutura envolvendo os órgãos de segurança e exploração de barragens são predominantes as seguintes (Ramos 1995):

- A insuficiente capacidade de vazão ou mau funcionamento dos órgãos de descarga de cheias que corresponde a cerca de 42% do número total de ruturas em barragens. É importante referir que, neste caso, inclui-se a deficiente avaliação do valor de caudal de projeto, incorreta utilização dos critérios de dimensionamento hidráulico e não funcionamento das comportas.

- As relacionadas com as fundações (percolação, erosão interna), com as erosões localizadas e com o deficiente comportamento estrutural, que corresponde a cerca de 23% dos casos de ruturas em barragens.
- Os restantes 35% são resultado de várias causas, tais como gestão incorreta, ação de ondas e atos de guerra.

Refere-se ainda que 58% dos casos de rutura registados até 1975, envolvendo órgãos de segurança e exploração, correspondiam a barragens com altura compreendida entre 15 e 30 metros, enquanto em barragens com mais de 100 metros apenas se registou um caso, mas que não foi catastrófico.

Os dados apresentados pelo programa *National Performance of Dams Program* (NPDP) dos Estados Unidos (npdp.stanford.edu) indicam que cerca de 71% das ruturas de barragens que ocorreram nos EUA foram causadas por galgamento/cheias, como se pode verificar no gráfico 3.2.

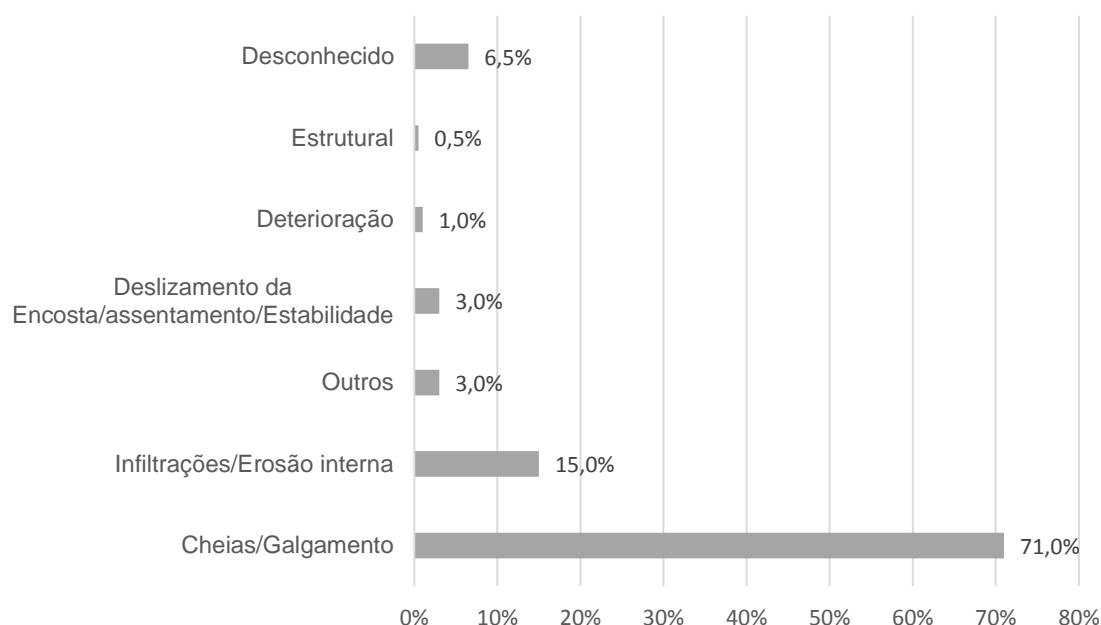


Gráfico 3.2 – Principais causas de ruturas em barragens nos EUA (entre 1975-2001) (adaptado de NPDP)

Define-se como galgamento a passagem de água sobre o coroamento da barragem, tendo conduzido a um significativo número de casos de rutura em todo o mundo, nomeadamente das barragens com altura reduzida. Este tipo de barragens pode ocorrer em qualquer tipo de barragens. Nas barragens de aterro também se destaca a rutura causada por infiltrações e erosão interna.

3.2.2.2 Tipos de ruturas

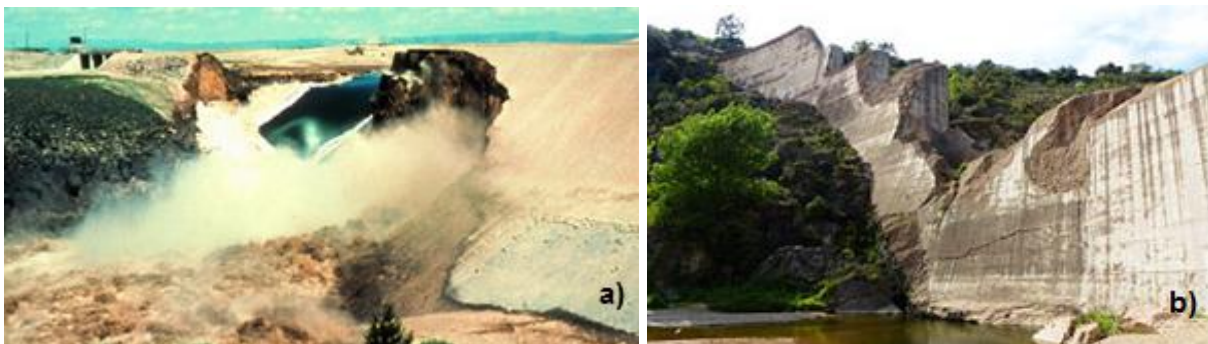
O tipo e características de rutura de barragens, no que respeita à sua caracterização geométrica e evolução temporal, depende, principalmente, do tipo de barragem (estrutura e materiais utilizados), estado da albufeira e características dos órgãos de segurança e das causas que provocam a rutura.

Relativamente ao tipo de barragem, salientam-se os seguintes tipos de rutura (Ramos 1995):

- Em barragens de aterro a rutura é progressiva, parcial e lenta;
- Em barragens de gravidade de betão a rutura é parcial e rápida;
- Em barragens tipo abóbada a rutura é súbita e total.

Sublinha-se que a rutura de barragens de aterro inclui, principalmente, fenómenos de galgamento e de erosão interna (do aterro, da fundação, ou dos encontros da barragem) e, de uma forma geral, não se processam subitamente, o que torna possível alertar a população desde que haja sistemas de aviso e alerta. A rutura por erosão interna “*piping*” provoca o aparecimento de uma fissura com a formação de um canal inicial. À medida que este vai sendo erodido pelo escoamento, com o consequentemente aumento da seção, o caudal vai aumentando e assim sucessivamente, até a barragem entrar em colapso. Este tipo de rutura, ocorreu, por exemplo, na barragem de Teton, localizado nos EUA (fig. 3.1a).

Relativamente à rutura de barragens de gravidade esta pode ser por derrubamento ou por deslizamento devido à diminuição de resistência que pode resultar da deterioração do material constituinte do corpo, dos encontros ou da fundação. No caso de rutura de barragens tipo abóboda pode ter a sua causa no enfraquecimento da fundação rochosa circundante, ou seja, nos encontros dos vales com a barragem, como resultado da saturação ou da carga excessiva, tal como ocorreu na barragem de Malpasset, localizada em França (fig. 3.1b).



a) Rutura da barragem em aterro de Teton (en.wikipedia.org)
b) As ruínas da barragem em arco de Malpasset (en.wikipedia.org)

Fig. 3.1 – Rutura de barragens paradigmáticas

É importante salientar que em situação de níveis de água muito altos da albufeira, em particular quando ocorrem períodos de precipitação muito intensos, estão associados às ruturas consequências mais catastróficas. Mesmo sem haver nenhum indício de rutura poderá haver dados que permitam antecipar uma situação de alerta e, portanto, uma evacuação mais rápida se tal for necessário.

3.2.2.3 Probabilidades de rutura

As estimativas de riscos associados à probabilidade de rutura de barragens são difíceis de realizar, sendo por vezes contraditórias e controversas. O risco depende de fatores intrínsecos da barragem, das suas características e dimensão, sendo que o consenso de probabilidade pode ser encarado mais como uma frequência média e não como uma interpretação probabilística absoluta (Ramos 1995).

Segundo Almeida. B (2000) a ordem de grandeza da probabilidade de rutura, por ano, de uma barragem pode variar entre 10^{-5} e 10^{-7} , já os estudos apresentados por Baecher (1980) referem uma média de $4 \cdot 10^{-4}$. De acordo com outros estudos estatísticos (Lebreton, 1985 e Kloh, 1992) o valor da frequência média anual de rutura de barragens, está compreendida entre 2 e $7 \cdot 10^{-4}$. Por outro lado, a probabilidade de ocorrer um incidente é muito mais elevada, cerca de 100 vezes maior. Segundo Ben Chie Yen e Yeou-Koung Tung (1993), a probabilidade média de incidentes para todo o tipo de barragens é da ordem de grandeza 10^{-3} .

O risco de rutura varia em função das características da barragem, altura, tipo e materiais, da qualidade do projeto e da construção das condições locais (características da fundação, sismicidade, hidrologia, geotecnia, geologia), da forma como se procede à sua observação e inspeção, bem como do tempo decorrido após o início da construção. A probabilidade de rutura pode ainda ser analisada discriminadamente quando às características das barragens, como idade, altura e tipo. Em seguida, serão apresentados alguns dados estatísticos relativos a rutura de barragens em função do tipo e fase de vida destas obras.

No gráfico 3.3 apresenta-se a distribuição de 169 ruturas por tipos de barragem, com base na análise estatística publicada pela ICOLD em 1995.

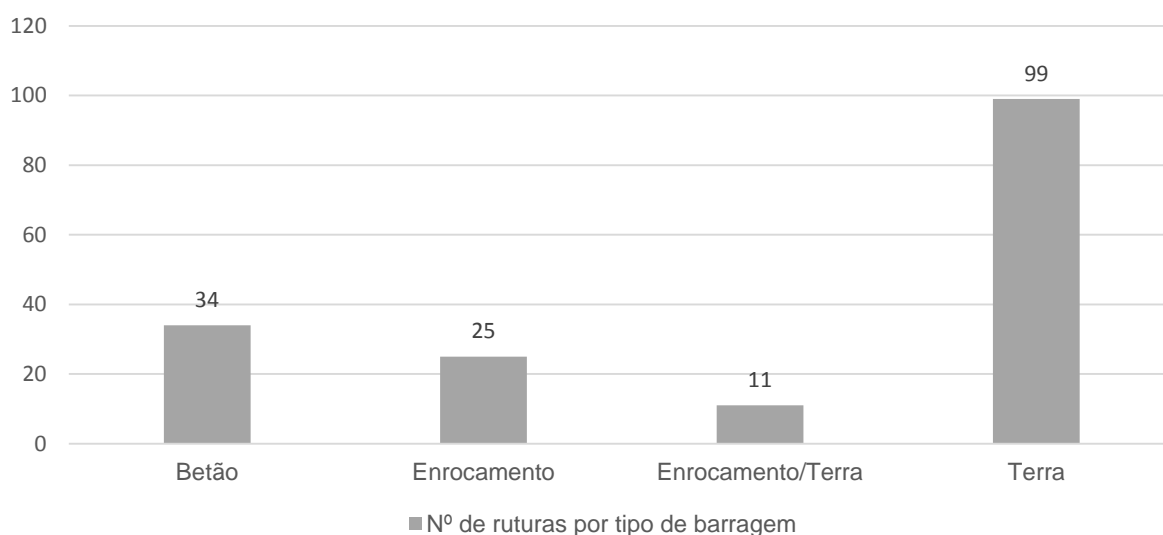


Gráfico - 3.3 Ruturas por tipo de barragem (Pinto 2001)

A análise do gráfico permite concluir que as ruturas ocorreram em maior número nas barragens de aterro. No entanto, como se verificou no capítulo 2, este tipo de barragem existe em muito maior número do que as restantes.

Segundos os mesmos dados estatísticos, mais de 70% das barragens que ruíram tinham uma altura inferior a 30 m. Este facto pode ser explicado pelos maiores cuidados no projeto, construção e exploração das barragens de maior dimensão, que, normalmente, são as de maior importância.

Pela análise do gráfico 3.4 verifica-se que é nos primeiros 5 anos que ocorre a maior percentagem de rutura de barragens e, em particular, durante o primeiro enchimento, fase que deve ser especialmente

observada e acompanhada. Se já tivessem sido adotadas medidas preventivas, mais de 70% das ruturas poderiam ter sido evitadas (Pinto 2001).

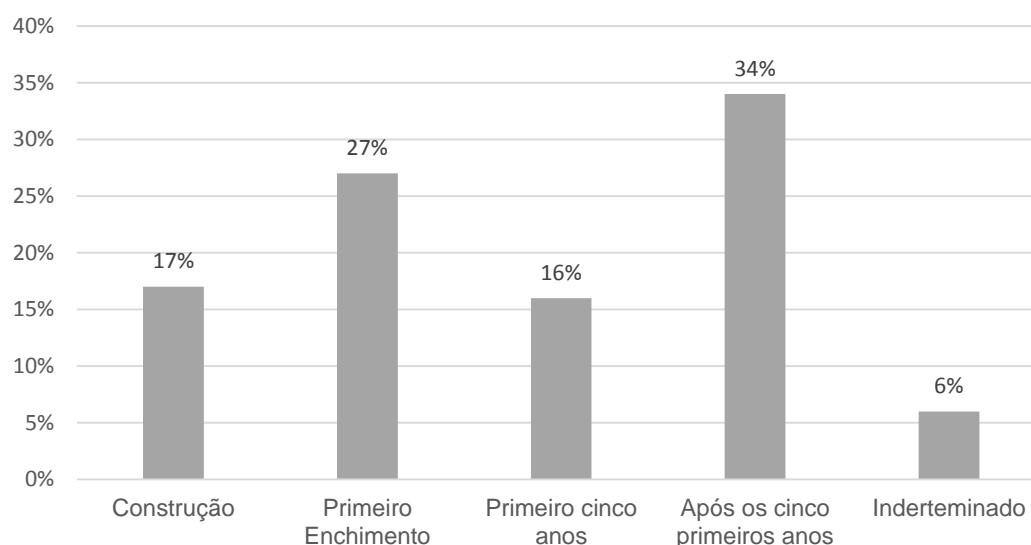


Gráfico 3.4 - Ruturas por fase de vida da barragem (Pinto 2001)

3.2.2.4 Consequências da rutura

A rutura de uma barragem provoca um aumento significativo e repentino do caudal no trecho do rio a jusante, formando-se uma onda que se propaga com elevadas velocidades, com efeitos devastadores, principalmente, para as zonas situadas na proximidade da barragem. A existência de barragens em cascata, com a possível rutura em sequência, agrava os efeitos provocados pela onda de inundação, que se pode prolongar por várias dezenas de quilómetros.

Os efeitos provocados pela onda de inundação são diretamente proporcionais à velocidade de propagação da frente de onda, à sua altura e à duração da inundação.

As consequências da rutura de uma barragem abrangem vários aspetos, dos quais se salientam os seguintes (Ramos 1995):

- Perdas de vidas humanas;
- Danos na barragem e nas zonas atingidas pela onda de inundação, destacando-se as propriedades agrícolas, património cultural, vias de comunicação, habitações e unidades industriais;
- Danos indiretos resultantes da interrupção das atividades produtivas nas zonas afetadas e do funcionamento da albufeira;
- Possíveis traumatismos psicológicos e danos físicos nos sobreviventes.

No quadro 3.1 apresenta-se o impacto da rutura de várias barragens, no que respeita à perda de vidas humanas. Em consequência do impacte social provocado por ruturas de barragens, a possibilidade de ocorrências semelhantes passou a ser considerada com grande preocupação no que respeita à proteção das populações dos vales a jusante. Em França foi publicado o Regulamento de Segurança de barragens sete anos após a rutura de Malpasset (1966).

Quadro 3.1- Número de vítimas estimado devido à rutura de barragens (Adaptado de Ramos 1995)

Barragem	País	Ano da rutura	Nº de vítimas
Puentes	Espanha	1802	600
South Fork	EUA	1889	2 200
Saint Francis	EUA	1928	450
Veg de Tera	Espanha	1959	144
Malpasset	França	1959	421
Orós	Brasil	1960	50
Babbi yar	USSR	1961	145
Hyokiri	Coreia	1961	250
Quebrada la chapa	Colômbia	1963	250
Vajont	Itália	1963	3 000
Baldwin Hills	EUA	1963	3
Vratsa	Bulgária	1966	600
Nanaksagar	Índia	1967	100
Sempor	Indonésia	1967	200
Buffalo Creek	EUA	1972	118
Teton	EUA	1976	6
Hirakud	Índia	1980	118

3.3 ANÁLISE DO CASO PORTUGUÊS

3.3.1 RUTURA E ACIDENTES

Em Portugal, felizmente, nunca houve uma rutura de barragem que implicasse perda de vidas humanas, tendo-se registado, durante a fase de exploração, um número reduzido de acidentes mortais, nomeadamente, em trabalhos de reparações ou envolvendo pessoas que inadvertidamente se aproximaram de zonas perigosas da barragem (Martins 2001). Num universo de 231 grandes barragens em serviço, apenas se verificou uma rutura, a barragem de Venda Velha em 1959.

Contudo, têm-se verificado alguns incidentes com os órgãos de segurança e exploração, nomeadamente nas barragens de Monte Novo, Corgas e Pego do Altar, que apresentaram avarias em comportas, e obrigaram a realizar reparações de emergência, durante períodos de caudais elevados, para evitar a ocorrência de galgamentos.

Como já foi referido, o galgamento de barragens é o tipo de acidente que tem originado maior número de ruturas, e ocorre, maioritariamente, pela incapacidade de vazão dos descarregadores de cheias e deficiente definição das cheias de projeto. Descrevem-se, sucintamente, alguns acidentes provocados pelo galgamento de barragens em Portugal (Faria 2001):

- Barragem da Amieira – Durante a ocorrência de temporais a barragem de aterro foi galgada, o que resultou numa forte erosão com perda de material no maciço estabilizador de jusante, nomeadamente, na zona central, em que cerca de metade do seu volume foi arrastado. É importante referir que esta barragem não dispõe de descarga de fundo impossibilitando o abaixamento do nível da albufeira.
- Barragem da Gata – Esta barragem foi galgada por incapacidade do descarregador de cheias.
- A barragem do Monte da Ribeira - Nas cheias de 1997 o coroamento da barragem foi galgado em toda a sua extensão, com uma altura da água que se estima em cerca de 1,5m. O galgamento provocou danos significativos no corpo da barragem. Posteriormente, verificou-se que os descarregadores de cheias estavam subdimensionados.
- Barragem de Fagilde – Devido ao incumprimento das normas de exploração, as comportas mantiveram-se com uma abertura reduzida, o que resultou no galgamento da barragem durante a ocorrência de cheias. A lâmina de água que passou sobre o coroamento atingiu uma espessura na ordem dos 2 metros, impossibilitando o acesso ao local do comando das comportas, que se situa no corpo da barragem.

Relativamente à barragem de Venda Velha, trata-se de uma barragem de aterro, com núcleo de betão armado. Em 1959, verificou-se o galgamento da barragem por incapacidade dos órgãos de descarga, e consequentemente cerca de 30 hectares de terrenos cultiváveis ficaram cobertos por areias provenientes da barragem, ficaram destruídos cerca de 350 hectares de culturas e o curso de água em que a barragem se localizava ficou extremamente assoreado (Faria 2001).

3.3.2 CASOS DE ESTUDOS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS PORTUGUESAS

Na sequência de problemas ocorridos nas cheias de 1995-1996, designadamente casos de alguns galgamentos em pequenas barragens e incidentes em grandes barragens, que puderam ser controlados, mas que suscitaram preocupação, o Instituto da Água (atual APA), enquanto autoridade de segurança de barragens (descrita no capítulo 4), decidiu lançar um programa específico de reavaliação da segurança de grandes barragens em Portugal (Silva, Matos, Afonso, 2005). Os estudos de segurança foram baseados nos dados hidrológicos disponíveis, nos projetos originais, em relatórios de comportamento existentes e em inspeções visuais levadas a cabo para o efeito. Ficou demonstrado que em alguns casos as barragens não cumpriam com exigências da legislação em vigor.

Num universo de 38 barragens portuguesas, todas projetadas antes da publicação do RSB, todas apresentavam deteriorações e na maioria apresentavam um risco potencial considerável. O objetivo principal deste programa era o efetuar uma revisão das condições de segurança das barragens portuguesas, tendo em conta a legislação de segurança e identificar as medidas necessárias a implementar pelos donos de obra a fim de a cumprir as exigências da legislação. No decorrer deste programa verificou-se, essencialmente, que (Silva, Matos, Afonso, 2005).:

- Um número significativo de casos de ausência do plano de observação e de inspeções regulares, sendo as atividades de observação deficientes;
- Em algumas barragens, as descargas de fundo não funcionavam e as barragens mostravam falta de manutenção dos equipamentos e das estruturas;
- O pessoal responsável pela exploração das barragens não possuía preparação específica para atuar corretamente no funcionamento das comportas e válvulas.

No quadro 3.2 apresentam-se os dados disponíveis relativos a 13 barragens, das 38 analisadas no programa referido.

Quadro 3.2- Resultados dos estudos hidrológicos e de desempenho dos descarregadores (Silva, Matos, Rocha 2005)

Barragem	Período de retorno		Cheia máxima afluente (m ³ /s)		Capacidade do descarregador (m ³ /s)	
	Inicial	Novo	Inicial	Nova	Inicial	Revista
Cova do Viriato	100	1000	34	43	3,8	18
Fonte Serne	500	1000	55	125	36	68
Magos		1000	110	279	110	195
Meimoa	1000	5000	228	505	124	240,5
Montargil	500	5000	1200	1764	765	1022
Pisco		1000	100,6	105,9	43	77,5
Rio da Mula		1000	22	35	7,8	26
Roxo	1000	1000	740	1232	64	161
S M Aguiar		1000		218,6	155	200
Santa Clara	1000	5000	2000	2482	208	213
Toluica	100	1000	80	100	17,6	
Vale do Gaio		5000	750	1762	1000	1200
Venda Velha	100	1000	300	327	140	236

Ao analisar os períodos de retorno do quadro 3.2 verifica-se que, na maioria dos casos, os novos valores são superiores aos iniciais. De referir que, em alguns casos, havia falta de informação, nomeadamente sobre os períodos de retorno adotados nos projetos originais.

Ao comparar a nova cheia máxima afluente, com a inicial, verifica-se que os novos valores obtidos são também superiores aos adotados nos estudos originais. Este facto pode ser explicado pelo maior número de dados disponíveis, novas metodologias e tecnologias que hoje são utilizadas e consideradas mais fiáveis.

Nas barragens de Fonte de Serne, Magos Meimoa e Vale do Gaio, os novos caudais máximos de cheia afluente correspondem a um aumento de mais de 100% dos caudais iniciais.

No estudo referido, também se verificou que em cerca de 30% das 38 barragens analisadas, a capacidade de vazão dos descarregadores de cheias era incompatível com as novas cheias obtidas. Nestes casos, torna-se necessário construir novos descarregadores, ou modificar os existentes, ou impor restrições à exploração.

Sublinha-se que em alguns casos, como nas barragens da Penha Garcia, Cova do Viriato e Pisco, as descargas de fundo estavam inoperacionais e, portanto, em situações de emergência, não seria possível, por essa via, baixar o nível da albufeira. Em outros casos, como na barragem da Venda Velha, Vale das

Bicas, Toullica ou Magos, as descargas de fundo funcionavam com alguns problemas. Mas o principal problema encontrado relativamente às descargas de fundo prende-se com a sua inoperacionalidade, grande parte dos responsáveis pela exploração das barragens não encara estes órgãos como sendo efetivos de segurança, e, erradamente, como meio auxiliar de exploração da albufeira.

Das medidas de reforço da segurança adotadas em algumas barragens, referem-se as seguintes:

- Adoção de valores inferiores de nível de armazenamento;
- Alteração da capacidade de vazão dos descarregadores;
- Construção de descarregador auxiliar;
- Construção de nova descarga de fundo, exterior ao corpo das barragens.

As ações para aumentar a segurança das barragens devem ser implementadas tão cedo quanto o possível para prevenir acidentes e evitar colocar vidas humanas em perigo.

Genericamente, também se observa por parte das entidades ligadas à exploração das barragens, desconhecimento sobre o modo de atuar nos diversos componentes e quanto ao estado físico dos mesmos. Por vezes, os órgãos de segurança não sofrem manutenção desde a sua construção, noutros casos terá sido feita esporadicamente, quando são detetados problemas durante o funcionamento. Comportamentos deste tipo são de elevada irresponsabilidade, pois a manutenção existe para assegurar que estes órgãos funcionam quando necessário, por isso é que são considerados órgãos de segurança.

Após as fortes chuvas que se fizeram sentir em Dezembro de 2000, o descarregador de cheias da barragem do Pisco sofreu graves danos que puseram em causa a própria barragem e motivaram uma intervenção de emergência (Silva, Matos, Rocha 2005).

Foi então elaborado um projeto de um novo descarregador de cheias, localizado paralelamente ao antigo. Na figura 3.2 é possível verificar a localização do antigo descarregador (limitado a vermelho) que já se encontra demolido e do novo adjacente ao antigo. Posteriormente à construção do descarregador, foi construída uma nova descarga de fundo, na zona anteriormente ocupada pelo descarregador antigo.



Fig. 3.2- Barragem do Pisco (ordemengenheiros.pt)

De assinalar que, em Portugal, existem atualmente em exploração cerca de 231 grandes barragens, das quais cerca de 55,5% , foram construídas antes da publicação de documentos legais de controlo de

segurança. Após a publicação do RSB, algumas destas obras foram já alvo de intervenção a fim de dar cumprimento às exigências em vigor, como aconteceu na barragem atrás referida. A análise da legislação portuguesa de segurança de barragens é analisada no capítulo 4.

4

LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

4.1 INTRODUÇÃO

A construção de barragens é necessária para uma adequada gestão dos recursos hídricos, pois permite o armazenamento de água para várias utilizações, nomeadamente: abastecimento, rega, controlo de cheias, produção de energia e navegação. Contudo, as barragens têm associados riscos potenciais consideráveis, uma vez que, em caso de acidente grave podem provocar perda de vidas humanas e elevados prejuízos materiais no vale a jusante.

Assim torna-se indispensável garantir a segurança destas obras por intermédio de medidas adequadas de projeto, construção, exploração e observação e inspeção. Por outro lado, a exigência com a segurança das pessoas e bens aumenta à medida que as sociedades evoluem e o progresso científico e tecnológico cria as condições para a satisfação dessa exigência.

Em Portugal, a legislação neste âmbito, é composta por regulamentos e normas que constituem o enquadramento legal do controlo de segurança para projeto, construção, exploração, observação e inspeção de barragens.

Neste capítulo, após um breve enquadramento histórico da legislação portuguesa de segurança em barragens, apresentam-se os aspetos mais relevantes da legislação atualmente em vigor, com particular incidência na segurança hidráulico-operacional.

4.2 BREVE HISTÓRIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

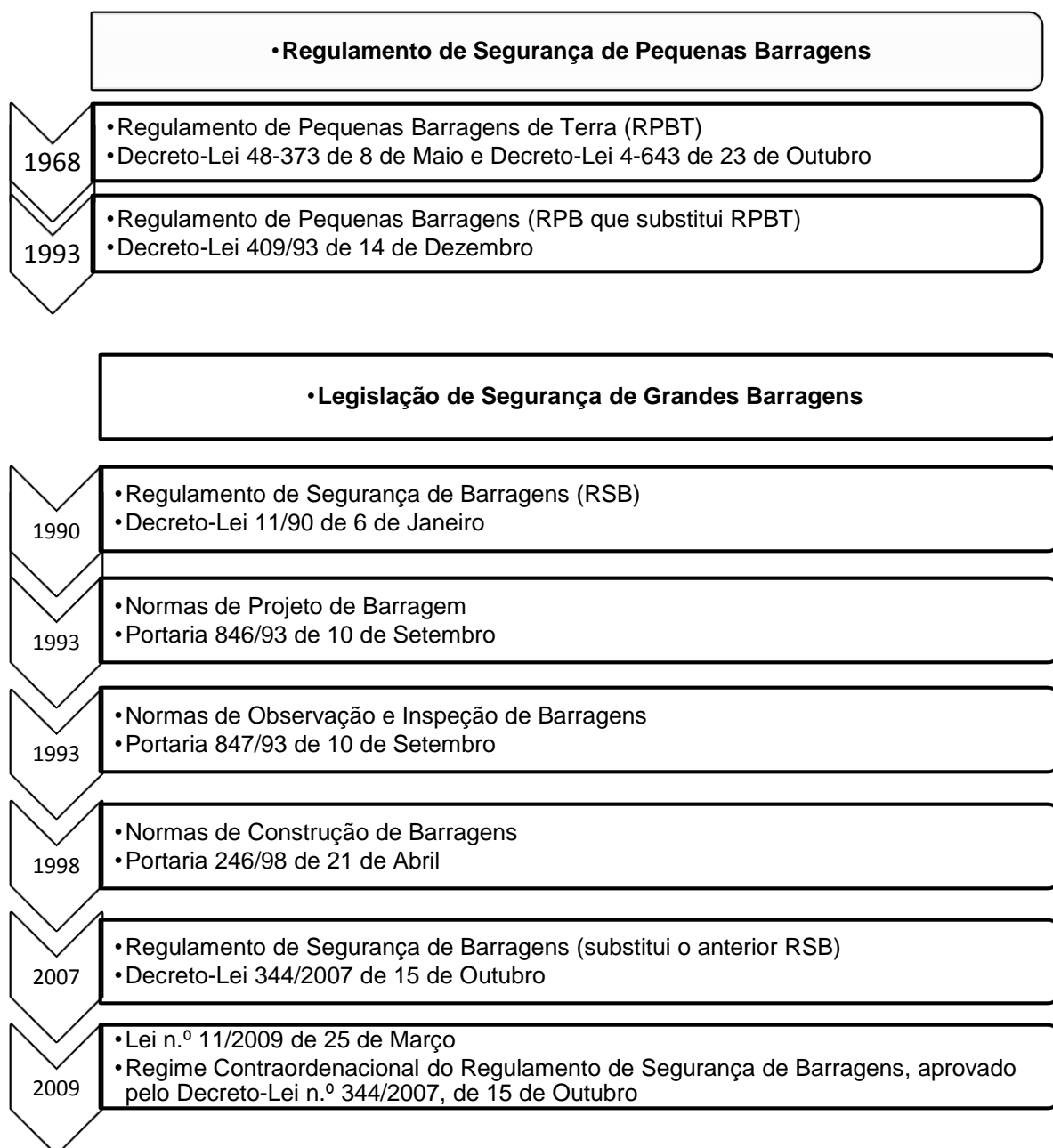
O Regulamento de Pequenas Barragens de Terra constituiu a primeira peça legislativa relativa à segurança de barragens portuguesas, tendo-se revelado de muita utilidade num período em que foram construídas algumas barragens desse tipo essencialmente com finalidades de rega. Este regulamento viria a ser substituído através do Decreto-Lei n.º 409/93, pelo Regulamento de Pequenas Barragens (Pedro 2005).

Em 1990, na sequência de um trabalho no âmbito de uma Comissão do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, foi publicado um novo diploma, igualmente sob a forma de Decreto-Lei n.º 11/90, o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), que passou a enquadrar as atividades de segurança das grandes barragens.

Ao RSB seguiram-se as Normas sob a forma de portarias. Foram publicadas as Normas de Projeto, e de Observação e Inspeção em 1993 e as Normas de Construção em 1998, aguardando-se a publicação das

Normas de Exploração de Barragens que completarão os documentos legislativos nacionais neste domínio.

No quadro 4.1 resumem-se os documentos legais publicados em Portugal, no âmbito da segurança de barragens, por ordem cronológica e divididos segundo a sua aplicação, a pequenas ou grandes barragens. O critério de classificação de barragens (pequenas ou grandes) é apresentado mais à frente.



Quadro 4.1 – Evolução da legislação portuguesa de segurança de barragens

4.3 REGULAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS

Foi o Regulamento de Pequenas Barragens de Terra (RPBT), publicado em forma de Decreto-lei em 1968, que constituiu a primeira linha condutora legislativa relativa à segurança de barragens portuguesas. Em 1993 foi publicado o Regulamento de Pequenas Barragens (RPB), que revogou o antigo regulamento e que ainda se encontra em vigor.

O regulamento de pequenas barragens é constituído pelos seguintes capítulos:

- Capítulo I – Generalidades;
- Capítulo II – Reconhecimento da fundação e da albufeira;
- Capítulo III – Materiais de construção;
- Capítulo IV – Projeto;
- Capítulo V – Construção;
- Capítulo VI – Exploração;
- Capítulo VII – Observação das obras;
- Capítulo VIII – Disposições finais.

Seguidamente apresentam-se alguns dos aspetos referidos com maior detalhe.

4.3.1 OBJETO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO

O Regulamento de Segurança de Pequenas Barragens é aplicável às fases de projeto, construção, exploração e observação das barragens.

Definem-se como pequenas barragens aquelas que apresentam as seguintes características:

- Altura igual ou inferior a 15 m, medida desde a parte mais baixa da superfície geral das fundações até ao coroamento;
- Capacidade de armazenamento menor do que 100 000 m³.

Excetuam-se as abrangidas pelo n.º 2 do artigo 2.º do Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), que são classificadas como Classe I, em função dos danos potenciais associados à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável.

Cabe à Agência Portuguesa do Ambiente (APA), antigo INAG, a verificação do condicionalismo atrás referido. No ponto 4.4.4 são descritas as responsabilidades da APA, bem como das restantes entidades envolvidas no controlo de segurança de barragens.

Para as barragens de altura inferior a 8 m é dispensada a aplicação das disposições do presente diploma, quando especiais condições técnicas assim o exigirem.

4.3.2 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Segundo o artigo 2.º do RPB, os projetos devem ser elaborados por técnicos com qualificação reconhecida pela APA, a construção deve ser igualmente dirigida por um técnico com as mesmas qualificações requeridas.

Os projetos devem conter peças escritas e desenhadas, necessárias para definir completamente a obra e justificar o seu dimensionamento, entre outras que a APA considere conveniente, designadamente no que respeita a impacte ambiental. Os mesmos devem ser submetidos à aprovação APA de acordo com as leis e regulamentos em vigor sobre o aproveitamento das águas. Perante a APA, o dono de obra é o responsável pela exploração da barragem.

4.3.3 REGRAS RELATIVAS AO PROJETO

O RPB define, ao longo de 12 artigos, as regras relativas à elaboração dos projetos. Os projetos e estudos necessários devem ser alvo de aprovação por parte da APA.

Referem-se, sumariamente, as principais disposições regulamentares para a elaboração de projetos de acordo com o RPB:

- O reconhecimento da fundação e da albufeira deve ser estudado com base em trabalhos de reconhecimento *in situ* que permitam colher elementos informativos sobre as características geológicas e geotécnicas do local, nomeadamente resistência, deformabilidade e a permeabilidade das formações (Artigo 5º.);
- Deve ser efetuado o reconhecimento das características dos terrenos da albufeira que possam influenciar a sua estanquidade e a estabilidade das encostas, bem como deve ser apresentado o estudo de impacte ambiental (Artigo 6º.);
- No caso de barragens de aterro deve ser mencionada a origem dos materiais, e na abundância de elementos finos estes devem ser isentos de matéria orgânica, e devem ser apresentadas as características de compactação e resistência ao corte. Em caso de barragens de enrocamento devem ser determinadas as características físicas, índices e composição mineralógica dos materiais (Artigo 7.º e 8.º);
- O projeto de fundações deve conter demonstração da estabilidade mecânica das fundações face às características geotécnicas do local. No que diz respeito aos aspetos hidráulicos da fundação, o projeto deve conter o estudo da estabilidade hidráulica, como erosão interna, tipo, constituição, localização dos dispositivos de controlo de pressão nas fundações e dimensões e quantificação dos valores dos caudais percolados através da fundação (Artigo 9.º);
- Os critérios de dimensionamento do descarregador de cheias devem ser obtidos a partir do valor de caudal de projeto. Em barragens de aterro não é recomendável a adoção de descarregadores munidos de comportas, sendo que este não pode ficar fundado no corpo da barragem. Pode adotar-se no projeto o caudal máximo de cheia com probabilidade de ocorrência de uma vez em 100 anos, devendo, no entanto, nos casos de risco potencial elevado ou significativo, aplicar-se o disposto no RSB. As soluções adotadas para as soleiras de controlo, canal de descarga e estrutura de dissipação de energia devem ser convenientemente justificadas (Artigo 10.º);
- A fixação da folga deverá ser feita tendo em conta as características da barragem, a sismicidade local e a amplitude das ondas geradas na albufeira por ação do vento, no caso das barragens de aterro a folga deve ser igual ou superior a 1 m (Artigo 11.º);
- A largura do coroamento deve ser justificada em função da altura e da importância da barragem e em barragens de aterro a largura não deve ser inferior a 3 m (Artigo 12.º);
- A tomada de água e a descarga de fundo devem possuir diâmetro mínimo de 70 cm, munidas de grades de proteção e de uma comporta a montante com comando fiável facilmente acessível. Devem-se indicar os meios a adotar para o controlo de eventuais infiltrações ao longo do contacto do aterro com as condutas, caso estas atravessem o corpo do aterro. O projeto deve conter a curva de vazão da descarga de fundo e a indicação do tempo de esvaziamento da albufeira (Artigo 13.º);
- Deve-se ter em conta os diferentes critérios de dimensionamento para cada tipo de barragem. Para barragens de aterro deve considerar-se as ações devidas à gravidade, à água e aos sismos, bem como os fatores mínimos de segurança dos taludes ao deslizamento. No caso de barragens de betão os critérios a considerar são as ações devidas à gravidade, à

água, à temperatura e ações sísmicas, bem como os coeficientes relativos ao derrubamento e ao deslizamento na superfície de fundação (Artigo 14.º);

- Os filtros devem ser dispostos nas transições do aterro para o revestimento do paramento de montante e para os dispositivos drenantes. A solução adotada no tipo de filtros, naturais ou geotêxteis deve ser devidamente justificada (Artigo 15.º);
- Os paramentos das barragens de aterro devem ser protegidos por meio de um revestimento convenientemente justificado (Artigo 16º).

4.3.4 REGRAS RELATIVAS À CONSTRUÇÃO

O RPB define no Capítulo V, ao longo de 4 artigos, as regras relativas à construção, nomeadamente que: o saneamento das fundações deve ser realizado de acordo com o especificado no projeto, que a compactação dos aterros deve ser de acordo com o teor em água e a espessura das camadas ajustada às características do material a utilizar. No fabrico e colocação do betão devem ser respeitadas as disposições normativas e regulamentares aplicáveis.

4.3.5 REGRAS RELATIVAS À EXPLORAÇÃO

No capítulo VI do RPB são estabelecidas as exigências relativas à fase de exploração das barragens. No que diz respeito aos órgãos de segurança e exploração, o regulamento impõe que o funcionamento destes órgãos deve efetuar-se de acordo com normas próprias a definir no projeto, e devem ser referidos, pelo menos, os seguintes aspetos (artigo 21.º):

- Operação manual ou automática, local ou à distância;
- Fontes de energia de alimentação;
- Meios humanos necessários;
- Regras de operação das comportas;
- Sistemas de comunicação.

Deve ainda ser mencionado, de acordo com normas próprias a definir no projeto, as características principais de exploração, nomeadamente, os níveis da albufeira e volumes armazenados, caudal máximo escoado, tipo de descarregador e respetivas curvas de vazão, e definir instruções e procedimentos quanto à operação manual em caso de avaria de automatismos. As regras de operação dos órgãos de segurança e exploração, em regime de cheias, devem contemplar os aspetos relativos ao amortecimento de cheias e estabilidade das margens e leito do rio.

A conservação das obras e equipamentos deve desenvolver-se em ações sistemáticas, periódicas ou de rotina, que assegurem as condições de eficiente funcionamento dos equipamentos dos órgãos de segurança e exploração, por meio de ações de conservação e manutenção aprovadas pela APA (artigo.º 22). Para controlar aspetos de impacto ambiental deve proceder-se a análises da água da albufeira, deve ainda dar-se atenção à vigilância do desenvolvimento da fauna e da flora (artigo 23.º).

4.3.6 REGRAS RELATIVAS À OBSERVAÇÃO

O RPB refere no Capítulo VII as medidas de observação necessárias para a fase de primeiro enchimento e durante a exploração. O controlo de segurança durante o primeiro enchimento da albufeira, fase mais crítica da vida da obra do ponto de vista do risco envolvido, é um assunto abordado mais detalhadamente no RSB, justificado pela diferença de dimensão dos riscos associados às pequenas e grandes barragens.

O RPB refere, em particular, o aparecimento de fendas, infiltrações, ressurgências e deformações significativas. As observações incumbem ao técnico responsável pela construção, que deve apresentar relatórios a submeter à APA, devendo esta proceder à vistoria da obra para averiguar as condições de exploração (artigo 24.º).

Durante a fase de exploração compete ao dono da obra observar o seu comportamento e comunicar à APA as ocorrências cujo conhecimento interesse à avaliação da segurança da obra.

O artigo 26.º do RPB refere que este regulamento seria revisto cinco anos após a sua entrada em vigor, tal ainda não se verificou.

4.4 REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

4.4.1 ATUALIZAÇÃO DO REGULAMENTO

A legislação portuguesa no domínio das grandes barragens teve início com a publicação do Decreto-Lei nº11/90, em 6 de Janeiro de 1990, que anexa o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB). Anteriormente só as pequenas barragens de terra eram alvo de legislação específica, com o Regulamento de Pequenas Barragens de Terra.

O Regulamento de Segurança de Barragens de 1990 previa a sua revisão cinco anos após a entrada em vigor, artigo 49.º. A revisão seria, então, em 1995, o que não se verificou. A revisão do RSB apenas acabou por ser realizada em 2007, com a publicação do novo RSB, anexo do Decreto-Lei 344/2007. A razão deste atrasado deve-se sobretudo “à ainda incipiente experiência obtida pela efetiva aplicação do RSB, nomeadamente no que respeita às barragens”, referida no novo RSB.

Na revisão efetuada foram mantidas as entidades envolvidas na aplicação das disposições regulamentares e, de um modo geral, o modelo de organização das atividades de controlo de segurança.

O novo regulamento procurou melhorar a eficácia e simplificar os procedimentos de modo a facilitar a sua aplicação ao longo da vida das obras, quer para os donos, quer para as outras entidades envolvidas e também articular as intervenções das diferentes entidades, para facilitar a cooperação entre elas e utilizar da melhor forma as suas capacidades.

O aspeto mais relevante da revisão do regulamento foi a classificação das barragens em função dos danos potenciais associados. A classificação foi definida em função da ocupação humana expressa em número de residentes e dos bens e ambiente existentes na região. As barragens são classificadas em 3 níveis de importância (I, II e III) decrescente segundo os danos potenciais associados à onda de inundação (Quadro 4.2).

Foi efetuada uma graduação das exigências de controlo de segurança e de proteção civil de algumas disposições regulamentares, em função da gravidade dos danos potenciais associados à construção e exploração das barragens. Considerou-se que algumas disposições, relativas ao controlo de segurança nas fases de projeto, construção e exploração, podem ser menos exigentes no caso de obras a que se associem danos potenciais de menor grau, e que as intervenções do Laboratório Nacional de Engenharia Civil no controlo de segurança das barragens e do Sistema de Proteção Civil, nas medidas de proteção civil, deverão limitar-se às obras a que se associam danos potenciais elevados.

Na revisão efetuada, é importante referir a fusão da segurança hidráulica e operacional no novo regulamento. No regulamento de 1990 os aspetos de segurança hidráulica e operacional eram abordados individualmente, o que não faz muito sentido já que estes aspetos estão intimamente relacionados.

Continuou a atribuir-se uma importância fundamental ao controlo de segurança das barragens, nos aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, tendo em vista a deteção de eventuais processos de deterioração na fase inicial do seu desenvolvimento, de modo a possibilitar que sejam atempadamente adotadas as medidas corretivas adequadas.

Procurou-se, ainda, integrar, na revisão das medidas de controlo de segurança e de proteção civil, os desenvolvimentos científicos e técnicos verificados nos últimos anos.

Na generalidade dos casos, a publicação do RSB não veio, pois, alterar os procedimentos que vinham sendo seguidos, mas antes permitir o seu enquadramento legal e justificar a sua eventual reformulação. A nova regulamentação, no que respeita às medidas de proteção civil, veio exigir que na sequência da realização de estudos de ondas de inundação resultantes de eventuais acidentes em barragens, e do traçado dos respetivos mapas de inundação no vale a jusante, fossem elaborados planos de emergência e definidos e implementados sistemas de aviso e alerta.

Em Portugal existem atualmente cerca de 600 barragens que são abrangidas pelo Regulamento de Segurança de Barragens (Decreto-Lei nº 344/2007, de 15 de Outubro), segundo os dados da proteção civil. Contudo, apenas estão registadas um total de 231 grandes barragens na Comissão Portuguesa de Grandes Barragem. Esta diferença mostra que muitas das pequenas barragens estão abrangidas pelo regulamento por serem classificadas como classe I (Quadro 4.2).

4.4.2 ESTRUTURA DO REGULAMENTO

O RSB está dividido em 56 artigos distribuídos pelos seguintes capítulos e secções:

- CAPÍTULO I - Disposições gerais:
 - SECÇÃO I Objeto, âmbito e definições;
 - SECÇÃO II Organização do controlo de segurança;
- CAPÍTULO II- Controlo de segurança:
 - SECÇÃO I Controlo de segurança na fase de projeto;
 - SECÇÃO II Plano de observação;
 - SECÇÃO III Controlo de segurança na fase de construção;
 - SECÇÃO IV Controlo de segurança durante o primeiro enchimento;
 - SECÇÃO VI Controlo de segurança nos casos de abandono e demolição;
- CAPÍTULO III -Medidas de proteção civil:
 - SECÇÃO I Disposições gerais;
 - SECÇÃO II Planos de emergência;
- CAPÍTULO IV- Disposições complementares e transitórias;
- ANEXO- Classificação das barragens em função dos danos potenciais.

4.4.3 OBJETO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO

O RSB tem por objeto a segurança de barragens durante as fases de projeto, construção, primeiro enchimento, exploração e abandono e aplica-se a todas as barragens que obedecem a umas das seguintes condições (artigo 2.º):

- a) Barragens de altura igual ou superior a 15 m, medida desde a cota mais baixa da superfície geral das fundações até à cota do coroamento, ou a barragens de altura igual ou superior a 10 m cuja albufeira tenha uma capacidade superior a 1 hm³, no presente Regulamento designadas por grandes barragens;

- b) Barragens de altura inferior a 15 m que não estejam incluídas na alínea anterior e cuja albufeira tenha uma capacidade superior a 100 000 m³.

Estão ainda sujeitas às disposições do presente Regulamento outras barragens que, em resultado da aprovação de projetos ou de estudos de avaliação de segurança, sejam incluídas na classe I em função dos danos potenciais.

Segundo o artigo 3.º do RSB as barragens são classificadas em três classes em função dos danos potenciais associados à onda de inundação que corresponde ao cenário mais desfavorável (Quadro 4.2). Os estragos causados pela onda de inundação devem ser avaliadas na região a jusante da barragem, a população será avaliada em função do número de pessoas que ocupam a região afetada e os bens serão avaliados em função das habitações e dos equipamentos sociais, instalações e infraestruturas.

Quadro 4.2 - Classificação das barragens em função dos danos potenciais (Anexo RSB)

Classe	Ocupação humana, bens e ambiente
I	Residentes em número igual ou superior a 25.
II	Residentes em número inferior a 25; ou Infra-estruturas e instalações importantes ou bens ambientais de grande valor e dificilmente recuperáveis ou existência de instalações de produção ou de armazenagem de substâncias perigosas.
III	As restantes barragens.

Este regulamento aplica-se não só a novas barragens como também às existentes, sendo atribuída competência à Autoridade, de seguida apresentada, para, em caso de incumprimento, impor suspensão da construção ou da exploração da barragem.

4.4.4 ENTIDADES ENVOLVIDAS

Segundo o RSB, o controlo de segurança de barragens é da responsabilidade das seguintes entidades: Comissão de Segurança em Barragens, Dono de Obra e Administração Pública (Quadro 4.3).

A Administração Pública, no âmbito da segurança de barragens divide-se em: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) e Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

Quadro 4.3 – Entidades envolvidas na organização do controlo de segurança de barragens

Entidades envolvidas	Descrição
	O Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia é a entidade de topo para implementar políticas do domínio da água em todo o País.
	Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é o organismo com competência genérica de controlo de segurança das barragens, que se designa por Autoridade Nacional de Segurança de Barragens (Autoridade).
	Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) é a entidade orientadora e coordenadora das atividades de proteção civil ao nível nacional.
	A Comissão de Segurança de Barragens (CSB) funciona sob tutela da APA e é composta por elementos de diferentes organismos, desde a Autoridade à Associação Nacional de Municípios, passando pelo LNEC, ANPC.
	O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), na qualidade de consultor da Autoridade em matéria de controlo de segurança das barragens
<p>Donos de obra mais comuns de barragens em Portugal</p> <p>O dono de obra é a entidade responsável pela construção e exploração da barragem perante a Autoridade.</p>	
	

4.4.4.1 Autoridade Nacional de Segurança de Barragens

O RSB criou a Autoridade com o dever de controlar e fiscalizar a atividade de segurança de barragens e promover o cumprimento da legislação atual numa matéria que apresenta elevada especificidade técnica e envolve uma atividade que pode por em causa vidas humanas e avultados bens materiais.

Atualmente a Autoridade é personalizada pela APA, Agência Portuguesa do Ambiente, organismo do ministério do ambiente. A APA é o resultado da fusão de 9 organismos, incluindo Instituto Nacional da Água (INAG), antiga Autoridade, conforme estipulado pelo Decreto-Lei n.º 56/2012, de 12 de março.

As competências da autoridade apresentam-se dívidas pelas diferentes fases da vida da barragem, projeto, construção primeiro enchimento e exploração (Artigo 6.º). A Autoridade as seguintes competências:

- Colaborar e promover a intervenção das restantes figuras de Administração pública, LNEC e ANPC, a seguir referidas;
- Intervir em caso de incumprimento do RSB por parte do dono de obra, podendo determinar o condicionamento da exploração ou mesmo a demolição da barragem e ressarcir-se dos respetivos custos;
- Determinar a elaboração de estudos e ensaios, bem como a realização de trabalhos e outras medidas necessárias para a garantia da qualidade da obra e da segurança de pessoas e bens;
- Proceder a inspeções e a verificações dos trabalhos, do estado de conservação das obras e dos equipamentos, quando entender necessário;
- Aprovar os planos de observação, de primeiro enchimento, emergência interno e quaisquer projetos de alteração, bem como a designação dos técnicos adequados para o exercício das suas funções.

4.4.4.2 Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) é uma instituição do setor do Estado que exerce funções no ramo das ciências e tecnologias desde 1946. Exerce a sua atividade nos múltiplos domínios da engenharia civil e tem como missão empreender, coordenar e promover a investigação científica e o desenvolvimento tecnológicos (artigo 7.º).

O LNEC, como entidade de administração pública, exerce funções na qualidade de consultor da Autoridade em matéria de controlo de segurança das barragens.

A sua intervenção justifica-se a pedido do dono de obra ou da Autoridade sempre que a barragem seja classificada como classe I e tem como principais competências:

- Rever e controlar o plano de observação na fase de elaboração do projeto e as respetivas adaptação e atualizações, bem como o plano de primeiro enchimento ou de enchimento, após esvaziamento prolongado da albufeira, bem como na fase de execução;
- Promover a constituição de um arquivo informático dos dados dos sistemas de observação das barragens e mantê-lo atualizado;
- Acompanhar o comportamento das barragens ao longo da vida destas obras;
- Efetuar inspeções e elaborar pareceres em caso de ocorrências excecionais ou de circunstâncias anómalas;
- Realizar dos estudos e ensaios, no âmbito do controlo de segurança das barragens, que lhe forem solicitados pela Autoridade.

4.4.4.3 Autoridade Nacional de Proteção Civil

A Autoridade Nacional de Proteção Civil é um serviço central da administração do Estado. Tem por missão planear, coordenar e executar a política de proteção civil, designadamente na prevenção e reação a acidentes graves e catástrofes.

No âmbito do Sistema Nacional de Proteção Civil, é da responsabilidade da Autoridade Nacional de Proteção Civil, para as barragens da classe I (artigo 8.º), e compreende as seguintes competências:

- Emitir parecer sobre o plano de emergência interno, articulado com o plano de emergência externo e os sistemas de alerta;
- Promover a elaboração do plano de emergência externo, a ser aprovado pela Comissão Nacional de Proteção Civil, de acordo com a legislação de proteção civil.

4.4.4.4 Comissão de Segurança de Barragens

A Comissão de Segurança de Barragens (CSB) funciona junto da Autoridade. Os seus membros são definidos no RSB, ponto 1 artigo 9.º, e tem como principais as seguintes competências:

- Elaborar normas sobre segurança em barragens;
- Emitir pareceres sobre os planos de emergência, sistemas de aviso, projetos de reparação na sequência de ocorrências excecionais, em caso de abandono ou demolição das obras, esvaziamento de albufeiras, antes da decisão da autoridade e situações que o dono de obra recorra a decisões da autoridade;
- Implementar medidas para salvaguarda da segurança das barragens.

4.4.4.5 Dono de obra

Uma barragem é de domínio hídrico de elevada complexidade e importância, assim o RSB estabelece que o dono de obra deverá ter um título jurídico, licença ou concessão, suficiente para construir ou explorar a barragem, já que é a entidade responsável pela obra e desempenha um papel fundamental para o bom funcionamento e segurança em barragem. No artigo 10.º do RSB são apresentadas as obrigações do dono de obra por todas as fases de vida da obra.

Na fase de projeto é da responsabilidade do dono de obra a elaboração do projeto como de todos os estudos necessários. Sumariamente, descrevem-se as responsabilidades do dono de obra nas diferentes fases de vida da obra:

- Na fase de construção:
 - Designar o diretor técnico da obra e submeter à Autoridade;
 - Comunicar a data de início da construção e a data prevista para o final da construção;
 - Proceder em conformidade com os projetos aprovados e as boas normas de construção;
 - Promover o cumprimento do plano de observação e arquivar os dados obtidos pelo plano;
 - Manter atualizado e organizado o livro técnico da obra e o arquivo técnico da construção;
 - Submeter à aprovação da Autoridade as regras de exploração;
 - Elaborar o plano de primeiro enchimento da albufeira e comunicar à Autoridade com vista à realização da inspeção final.
- Fase primeiro enchimento:
 - Promover e assegurar o cumprimento do plano do primeiro enchimento da albufeira;
 - Comunicar à Autoridade as alterações dos planos de enchimentos;

- Manter atualizado o arquivo obtido pelos sistemas de observação;
 - Para barragens de classe I, comunicar ao LNEC a evolução dos níveis da albufeira obtidos pelos sistemas de observação;
 - Promover a revisão das regras de exploração da barragem.
- Fase de exploração:
- Efetuar a exploração de acordo com as regras aprovadas pela Autoridade;
 - Comunicar à Autoridade e à Proteção Civil as circunstâncias anómalas no plano de emergência e promover o seu estudo;
 - Manter atualizado o arquivo do sistema de observação, o livro e arquivo técnico da obra e o plano de emergência interno;
 - Submeter à aprovação da autoridade os projetos de alteração ou ampliação e recuperação;
 - Promover as adaptações ao plano de observação.

Na fase de abandono ou demolição cabe ao dono de obra submeter à aprovação da Autoridade o projeto de abandono ou demolição. Cabe ainda ao dono de obra, suportar todas as despesas originadas pelo controlo de segurança, medidas de proteção civil e ainda por outras medidas consideradas necessárias pela Autoridade.

4.4.5 Controlo de segurança

O Capítulo 2 do RSB, Controlo de Segurança, é o capítulo central do regulamento, aborda os requisitos de segurança e o controlo a realizar nas várias fases da vida da barragem, dividindo-se em 6 secções. Cada uma dessas secções é respeitante a uma das seguintes fases: projeto, plano de observação, construção, primeiro enchimento, exploração e abandono. Existem ainda normas que tratam especificamente algumas destas matérias com maior pormenor.

Segundo o RSB o projeto deve incluir, entre outros documentos, a necessidade de elaboração de estudos, nomeadamente, relativos à climatologia, hidrologia, geologia, sismologia, geotecnia. O projeto deve incluir também os estudos dos riscos induzidos pela barragem, dos órgãos de segurança e da albufeira.

Dentro da mesma secção (Secção I), no que se refere a controlo de segurança na fase de projeto, é importante referir o artigo 15.º que aborda as regras relativas aos órgãos de segurança e exploração. No dimensionamento dos órgãos de segurança e exploração, nomeadamente dos descarregadores de cheias e descargas de fundo, devem ser considerados, principalmente, os seguintes aspetos:

- As cheias de projeto e de verificação, tendo em conta os danos potenciais induzidos pela barragem, e considerando a eventual existência de barragens a montante e a jusante;
- O cálculo do tempo necessário para o esvaziamento da albufeira;
- A previsão dos dispositivos necessários para proceder à dissipação de energia dos caudais descarregados;
- As soluções adotadas devem ser justificadas por métodos comprovados pela experiência e com recurso, sempre que necessário, à utilização de modelos hidráulicos e estruturais.

Os órgãos de segurança devem satisfazer os seguintes requisitos:

- Os descarregadores de cheias devem ser aptos a escoar a cheia de projeto em qualquer circunstância sem necessidade de auxílio das descargas de fundo ou de outros órgãos de exploração;
- Os descarregadores de cheias e as descargas de fundo devem ser divididos em, pelo menos, dois vãos ou orifícios e as comportas de serviço, sempre que o seu tipo o permita, devem poder ser manobradas localmente e à distância, mediante energia de natureza elétrica ou

hidráulica procedendo de duas origens distintas, além de poderem ser acionadas manualmente nos casos em que a sua dimensão permita tal manobra em tempo útil;

- As descargas de fundo devem permitir o esvaziamento da albufeira e ser equipadas com duas comportas de características idênticas às descritas na alínea anterior, uma funcionando como segurança e a outra destinada ao serviço normal da exploração.

A secção II do Regulamento do capítulo é referente ao plano de observação, que compreende os artigos 18.º ao 22.º. O plano de observação é incluído no projeto e visa essencialmente o controlo de segurança estrutural nas fases de construção, primeiro enchimento, primeiro período de exploração e período subsequente.

O plano de observação define a instalação e a exploração do sistema de observação que é fundamental na constatação do comportamento das obras, e portanto, da segurança.

É dada particular ênfase ao primeiro enchimento da albufeira, em que pela primeira vez se colocam à prova a eficácia e segurança da barragem.

A secção II, controlo de segurança na fase de construção, refere, essencialmente, a necessidade de um arquivo técnico de obra. Este documento é da responsabilidade do dono de obra, que o deverá manter permanentemente atualizado. Fazem parte do arquivo técnico de obra todos os elementos do projeto, como fotografias representativas, resultados de ensaios e programa de trabalhos.

É na secção IV que o RSB apresenta as regras relativas ao controlo de segurança durante o primeiro enchimento. O controlo de segurança durante o primeiro enchimento da albufeira, fase mais crítica da vida da obra do ponto de vista do risco envolvido, deve ser realizado com base num plano elaborado para o efeito e tem como objetivo os aspetos descritos no artigo 28.º. O controlo de segurança do primeiro enchimento da albufeira é abordado com mais detalhe nas Normas de Observação e Inspeção.

De acordo com a secção V, a segurança da barragem compreende os aspetos estruturais, hidráulicos-operacionais e ambientais:

- Segurança estrutural que corresponde à capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento estrutural perante as ações e outras influências, associadas à construção e exploração;
- Segurança hidráulico-operacional que corresponde à capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento e funcionamento hidráulico dos órgãos de segurança e exploração;
- Segurança ambiental que corresponde à capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento relativas à limitação de incidências prejudiciais sobre o ambiente, designadamente sobre os meios populacionais e produtivos.

O controlo da segurança hidráulico-operacional será realizado por inspeções e por aplicação das regras de exploração da barragem, nomeadamente:

- a) À operação dos equipamentos dos órgãos de segurança e exploração;
- b) Às medidas de manutenção;
- c) Às medidas de conservação que se revelem necessárias;
- d) À verificação e eventual revisão dos critérios de projeto.

No caso de abando ou demolição é exigido pelo RSB, um projeto de abandono que deve ser aprovado pela Autoridade. O projeto de abandono deve incluir os aspetos que são apresentados no artigo 44.º.

4.4.6 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CIVIL

O Capítulo 3, Medidas de Proteção Civil, divide-se em duas secções. As medidas de proteção visam a salvaguarda da população, bens e ambiente, bem como a mitigação das consequências de um acidente ou catástrofe.

É exigido, sempre que a barragem seja classificada como classe I, a aplicação do planeamento de emergência. No caso de existir mais de uma barragem sobre um trecho comum do rio, os planos de emergência na parte relativa a esse trecho devem ser compatíveis entre si e considerar o cenário de acidente mais desfavorável para essas barragens.

Como prevenção de um possível acidente, o RSB impõe a elaboração de uma carta de riscos representando as zonas inundadas pela onda de inundação as alturas e os respetivos tempos de chegada. No artigo 50.º é apresentada a informação que deve constituir o plano de emergência. É da responsabilidade do dono de obra a promoção e atualização do plano de emergência interno, mas o plano de emergência externo é da responsabilidade da Proteção Civil.

Em caso de ameaça de ações de guerra ou sabotagem cabe à Autoridade, em conjunto com os membros do governo, a aplicações de medidas de proteção (artigo 49º).

4.4.7 DISPOSIÇÕES COMPLEMENTARES E TRANSITÓRIAS

O capítulo IV é o último do RSB e está dividido em dois artigos. O artigo 55.º aconselha a consulta das normas de segurança de barragens. No ponto 3 do mesmo artigo é referido que deveriam ser estabelecidas as normas de exploração de barragens, que ainda aguardam publicação.

No capítulo 56.º são apresentados os prazos máximos para entrega da proposta de atribuição de classe à barragem e avaliação da conformidade da barragem com as exigências do RSB relativamente a barragens da mesma classe. No caso de existência de não conformidades, são indicados os prazos para a apresentação de medidas corretivas ou procedimentos alternativos. São também apresentadas as penalidades em caso de incumprimento que poderão passar pela suspensão da exploração da barragem ou o abandono.

4.5 NORMAS ASSOCIADAS AO REGULAMENTO

No regulamento de segurança em barragens, artigo 46.º do Decreto-Lei n.º 11/90, já se preconizava a publicação de normas relativas ao projeto, construção, exploração e observação e inspeção das barragens. As normas constituem um complemento do regulamento, facilitando a sua aplicação. Como já foi referido, ainda se aguarda a publicação das normas de exploração.

4.5.1 NORMAS DE PROJETO DE BARRAGENS

As normas de projeto de barragens (NPB), Portaria n.º 846/93 de 10 de Setembro, têm como objetivo garantir a boa execução do regulamento de segurança de barragens, através de princípios e critérios gerais que devem presidir à elaboração dos projetos. Aplica-se às barragens abrangidas pelo artigo 2.º do Regulamento de Segurança de Barragens.

Segundo o artigo 1.º da NPB entende-se por projeto “conjunto de documentos que permite a conveniente definição e dimensionamento das obras e o esclarecimento das suas condições de execução e exploração”.

A presente Norma está organizada nos seguintes capítulos:

- CAPÍTULO I – Introdução;
- CAPÍTULO II – Normas Gerais;
- CAPÍTULO III – Normas para barragens de betão;
- CAPÍTULO IV – Barragens de aterro;
- CAPÍTULO V – Normas para os órgãos de segurança e exploração;
- CAPÍTULO VI – Normas relativas à albufeira.

O capítulo I refere o objeto e âmbito das normas, assim como as diferentes fases de estudo do projeto: programa base, estudo prévio, anteprojeto e projeto de execução.

Salienta-se, no capítulo II da presente norma, o artigo 6.º relativo aos estudos hidrológicos. Este é um aspeto crucial para qualquer tipo de construção nos recursos hídricos. Os estudos hidrológicos visam obter os caudais de acordo com: a distribuição no tempo das necessidades a satisfazer, os hidrogramas de cheias para dimensionamento dos órgãos de segurança (descarregador de cheias), as curvas de vazão, os volumes de sedimentos afluentes à albufeira e a qualidade da água tendo em conta a sua utilização.

Para obtenção dos elementos atrás descritos, os estudos hidrológicos devem basear-se na seguinte informação (artigo 6.º ponto 1):

- Características fisiográficas da envolvente à construção;
- Distribuição estatística da precipitação anual, mensal e em casos extremos de precipitação associada a períodos de curta duração (até 72 horas);
- Caudais integrais anuais e mensais afluentes à albufeira;
- Registos passados relativos a caudais de cheia e medições do transporte sólido afluente à albufeira.

Os estudos hidrológicos devem ser realizados utilizando metodologias adequadas face à informação disponível e às finalidades do aproveitamento, e devem seguir os seguintes procedimentos (artigo 6.º ponto 3):

- Os caudais em estudo devem ser determinados recorrendo à análise estatística de séries homogéneas da ordem de pelo menos 30 anos, na ausência de registos suficientes a informação disponível deve ser complementada com informação deduzida das precipitações;
- A cheia de projeto deve ser fixada recorrendo a métodos estatísticos de simulação hidrológica e fórmulas empíricas, completada por informação histórica disponível;
- Os caudais para dimensionamento do descarregador de cheias devem ter em conta o amortecimento das cheias na respetiva albufeira e nas albufeiras a montante;
- Os períodos de retorno da cheia de projeto devem ser estabelecidos em função do tipo e altura da barragem, bem como do risco potencial, de acordo com o quadro 4.4, e recomenda-se que seja comparada com a cheia máxima provável nos casos em que o período de retorno seja superior a 1000 anos.

Os estudos hidrológicos devem ainda ser completados com:

- Modelos hidrodinâmicos adequados na avaliação das áreas inundáveis e tempo de propagação da onda de cheias provocadas por cenários de rutura;
- O estudo de sistemas de aviso e previsão de cheias em tempo real;
- A previsão da qualidade da água na albufeira e no trecho da linha de água a jusante;

Quadro 4.4 – Períodos de retorno para cheias de projeto (anexo I NPB)

Barragem		Risco potencial	
Betão	Aterro	Elevado	Significativo
$h \geq 100$	$h \geq 50$	10 000 a 5 000	5 000 a 1 000
$50 \leq h < 100$	$15 \leq h < 50$	5 000 a 1 000	1000
$15 \leq h < 50$	$H < 15$	1000	1000
$H < 15$	-	1000	500
h- altura da barragem, em metros			

A principal alteração do RSB de 1990 para o atual regulamento (2007) foi a implementação de classes de risco potencial, como atrás foi referido. Como se pode verificar, existe uma diferença de terminologia do risco potencial da presente norma e no regulamento, pois esta foi publicada em 1993. Atualmente, a determinação do risco potencial apresenta-se em três classes I, II e III em função das características apresentadas no Quadro 4.2 e não como é classificada nas NPB (elevado e significativo).

O capítulo 2 da presente norma indica outros estudos também importantes, como estudos geológicos e hidrogeológicos, sismológicos, geotécnicos e de impacto ambiental, assim como os requisitos de segurança estrutural para barragens de betão e aterro.

O capítulo 5 dedica-se aos órgãos de segurança e exploração. Entre os vários órgãos, salientam-se o descarregador de cheias, descarga de fundo, restituição e os equipamentos de regulação e de obturação.

Os descarregadores de cheias tem como função assegurar a descarga da cheia de projeto, sem auxílio de outros órgãos, sendo caracterizado essencialmente pelas suas formas, implantação e materiais de que é constituído. Em suma, no seu projeto deve constatar (artigo 49.º):

- A justificação da solução adotada em função: do tipo de barragem, condições hidrológicas, topográficas, geológicas, sismológicas e geotécnicas do local, dos caudais e condicionantes impostos a esses caudais e à sua restituição;
- Os critérios, modelos e métodos de análise que presidiram ao dimensionamento hidráulico, podendo ser tidos em consideração os seguintes procedimentos: dispor de uma reserva adicional do volume da albufeira para encaixar parte da cheia quando a exploração permitir; atender aos condicionamentos quanto ao nível máximo permitido na albufeira; ter em conta o risco de sucessão de cheias em intervalos pequenos; prever a existência de descarregador fusível sempre que possível, sobretudo quando a hidrologia for mal conhecida;
- A demonstração de que não são produzidas erosões, deteriorações dos revestimentos e vibrações que ponham em perigo a estabilidade da obra;
- A descrição dos órgãos de obturação e regulação e justificação das soluções adotadas;
- As soluções para obturações de emergência, reparações, manutenção e inspeções de rotina.

As descargas de meio fundo e de fundo destinam-se a esvaziar a albufeira até aos respetivos níveis e quando colocadas em níveis baixos, também permitem descarregar materiais sólidos finos. Em barragens de grande altura, e quando se justifique, devem existir descarregadores de superfície, descargas de meio fundo, e de fundo. Do projeto das descargas de meio fundo e de fundo devem constar, principalmente, os seguintes aspetos:

- Justificação das soluções adotadas para o número, localização e dimensionamento, em função do tipo de barragem;
- Os critérios, modelos e métodos adotados para o dimensionamento;
- Descrição dos órgãos de obturação e regulação (comportas e válvulas) e justificação das soluções adotadas;
- As soluções para proteção das entradas (grades ou grelhas);
- As soluções para obturações de emergência, reparações, manutenção e inspeções de rotina.

Deve ser garantida, em condições de segurança, a restituição efetuada pelos descarregadores de cheias, descargas de meio fundo e de fundo e tomadas de água. Os dispositivos de dissipação de energia provenientes destes órgãos devem prevenir erosões inconvenientes nas margens e leito do rio.

Os equipamentos de regulação e obturação destinam-se ao controlo de caudais e obturação dos órgãos referidos no capítulo 5 da presente norma. Estes equipamentos “são de primordial importância pelas implicações que têm na segurança da barragem”, sendo que no projeto devem constar, principalmente, os seguintes aspetos:

- A previsão de manobra dos órgãos de regulação e de obturação deve ser por meios manuais e mecânicos de fácil acesso e alimentados por duas fontes de energia diferentes e totalmente independentes;
- A previsão de situações de funcionamento para cenários correntes e de rutura, designadamente avarias, bloqueamentos, falta de acesso e rutura de comportas.

O Capítulo VI dedica-se aos requisitos relativo às albufeiras, sendo os principais aspetos os seguintes:

- A estabilidade da albufeira deve ser assegurada por meios de drenagem, ancoragens, pregagens, e desmonte de blocos ou zonas estáveis;
- A Previsão de movimentos horizontais e verticais do vale provocados pelo peso da água e sua infiltração no maciço da margem da albufeira;
- A área inundável em caso de rutura deve ter em conta a possível existência de barragens em cascata.

4.5.2 NORMAS DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

As Normas de Construção de Barragens (NCB), Portaria nº 246/98 de 21 de Abril, estabelece os princípios gerais que devem orientar as atividades de construção de novas barragens que permitam realizar as obras de forma a garantir a sua qualidade. As NCB também estabelece os critérios para atividades de construção relativas a reforço, demolição e abandono de barragens e aplica-se às barragens abrangidas pelo artigo 2.º do RSB.

Segundo o artigo 1.º das NPB entende-se por construção “o conjunto de atividades que permitam realizar as obras, com base nos projetos aprovados, de tal forma que seja garantida a sua qualidade” bem como as “atividades de construção relativas a reforço, demolição e abandono de barragens.”

As presentes Normas compreendem os seguintes capítulos:

- CAPÍTULO I – Introdução;
- CAPÍTULO II - Normas gerais;
 - SECÇÃO I - Organização e controlo das atividades de construção;
 - SECÇÃO II - Desenvolvimento das atividades de construção;
- CAPÍTULO III - Normas para barragens de betão e alvenaria;
 - SECÇÃO I - Materiais para barragens de betão;

- SECÇÃO II - Barragens de betão convencional;
- SECÇÃO III - Barragens de betão compactado com cilindro;
- SECÇÃO V - Fundações e seu tratamento;
- CAPÍTULO IV - Barragens de aterro;

Estas normas abordam principalmente assuntos relacionados com questões estruturais, uma vez que são assuntos mais relacionados com a fase de construção. Assim, não serão abordados em detalhe.

4.5.3 NORMAS DE OBSERVAÇÃO E INSPEÇÃO DE BARRAGENS

As normas de observação e inspeção de barragens, Portaria nº847/93 de 10 de Setembro, destinam-se a facilitar a aplicação do RSB, no cumprimento do seu artigo 46.º do assim como as restantes normas já analisadas. Têm como objeto os princípios e critérios que devem presidir à execução dessas atividades (observação e inspeção) de modo a permitir condições de segurança ao longo da vida da obra.

São constituídas pelos seguintes capítulos:

- Capítulo I – Introdução;
- Capítulo II – Organização das atividades de observação e inspeção;
- Capítulo III – Fase de projeto;
- Capítulo IV – Plano de observação;
- Capítulo V – Fase de construção;
- Capítulo VI – Fase de primeiro enchimento;
- Capítulo VII – Fase de exploração;
- Capítulo VIII – Fase de abandono e demolição;
- Capítulo IX – Disposições transitórias relativas às obras existentes.

A observação tem por objetivo a avaliação das condições de segurança estrutural, a modelação do comportamento e aferição dos critérios de projeto, e desenvolve-se ao longo da vida das obras. Compreende a realização de diversas atividades, designadamente:

- a) Planeamento;
- b) Inspeção visual das obras;
- c) Instalação, manutenção e exploração de um sistema de observação, compreendendo instrumentos e dispositivos de medida de grandezas selecionadas para o controlo, relativas às ações, às propriedades estruturais e às respostas das estruturas;
- d) Compilação e análise e interpretação de toda a informação recolhida;

Além das observações, o controlo de segurança inclui a realização de inspeções regulamentares. As inspeções conduzidas pela autoridade, previstas no RSB, são designadamente: durante e no final da construção (artigo 24.º), antes do primeiro enchimento (artigo 27.º), após o primeiro enchimento (artigo 30.º), durante a exploração (artigo 36.º) e as inspeções às obras existentes (artigo 48.º).

O plano de observação deve prever a inspeções visuais de três tipos:

- Inspeção visual de rotina, da responsabilidade das entidades de exploração;
- Inspeção visual de especialidade, a cargo dos responsáveis pela elaboração dos relatórios do comportamento das barragens;
- Inspeção visual de carácter excecional, a cargo dos responsáveis atrás referidos e do LNEC.

No último ponto referido, a intervenção deve ser de carácter sistemático, ou seja, após ocorrência de eventos especiais que possam alterar as condições de segurança da barragem, como sismos, grandes cheias, esvaziamentos totais.

As inspeções visuais têm por objetivo a deteção de sinais ou evidências de deteriorações ou sintomas de envelhecimento, ou anomalias.

A recolha e processamento de dados das observações e inspeções deve ser por critérios de validação de dados e resultados, e devem estar descritos os elementos de análise em diagramas, listagens e correlações entre grandezas.

O plano de observação deve incluir indicações sobre a elaboração de relatórios respeitantes à instalação e exploração do sistema de observação e deve ser indicado o tipo de periodicidade de relatórios sobre a avaliação da segurança e a análise do comportamento das obras.

As normas também referem as cheias como causa de uma percentagem significativa de acidentes em resultado de galgamento e que a descarga de grandes cheias tem provocado erosões a jusante das barragens e de deteriorações nos órgãos de segurança e exploração, nomeadamente por cavitação e erosão. No caso de iminência de galgamento, o dono de obra deve avisar de imediato a Autoridade e o Serviço Nacional de Proteção Civil, e promover as ações indispensáveis para que seja assegurada uma vigilância contínua da obra.

Os quadros em anexo às normas dizem respeito aos sistemas de observação e exploração adotados pela ICOLD. Neles constam indicações sobre fatores de apreciação das condições de risco associadas a uma dada barragem, essencialmente para apoio da recomendação de um conjunto mínimo de grandezas a observar. A frequência mínima das inspeções é sobretudo em função do tipo de barragem (betão ou aterro), da altura e das diferentes fases de vida.

4.6 REGIME CONTRA-ORDENACIONAL DE BARRAGENS

A existência de um Regulamento de Segurança de Barragens é, obviamente, essencial para o controlo de segurança, bem como para orientar a intervenção das autoridades que fiscalizam no terreno.

O Regulamento de Segurança de Barragens é acompanhado por um regime contra-ordenacional, Lei n.º 11/2009, de Março, na medida em que o seu incumprimento pode apresentar um impacto objetivo. O comportamento violador do regulamento é punível com coimas processadas por entidades administrativas com recurso aos Tribunais.

5

LEGISLAÇÃO DE BARRAGENS A NÍVEL MUNDIAL

5.1 INTRODUÇÃO

A segurança de barragens é um assunto de grande importância, principalmente devido ao grande número de barragens registadas em todo o mundo (58 266).

A análise da legislação de segurança de barragens a nível mundial pode ser muito útil, tendo em vista uma revisão da legislação nacional. Contudo, essa análise é complexa, não só pela diversidade de documentos, como pela dificuldade de acesso a alguns deles.

A legislação específica de cada país tem sido muito inspirada em documentos da ICOLD, quer documentos publicados no âmbito dos seus congressos e conferências, quer documentos resultantes da atividade dos seus comités técnicos. Este fato deve certamente ter contribuído para que se verifiquem algumas tendências gerais comuns nas disposições adotadas pelos diferentes países.

Devido ao trabalho exaustivo que seria abordar individualmente todas as legislações, selecionaram-se alguns tópicos do âmbito da segurança de barragens, designadamente da segurança hidráulico-operacional e apresentam-se as orientações seguidas em alguns países, com base em publicações da ICOLD.

5.2 ESTADO ATUAL DA LEGISLAÇÃO A NÍVEL MUNDIAL

Das dificuldades em realizar um estudo comparativo e exaustivo da legislação de barragens a nível mundial compreendem (Martins 2000):

- A legislação sobre barragens poder estar incluída em legislação referente a contextos vastos, como por exemplo infraestruturas hidráulicas;
- A legislação sobre barragens poder remeter para outros textos legais;
- A legislação poder ser de tipos diferentes (puramente administrativa ou técnico administrativa) e apresentar graus de pormenorização muito diversos;
- O "peso" jurídico da legislação ser diverso: em Portugal, por exemplo, há regulamentos e normas;
- Poder haver legislação distinta consoante a dimensão da barragem (em Portugal existe legislação distinta para grandes e pequenas barragens);
- Os estados federais poderem dispor de legislação distinta (por exemplo a América, Canadá e Alemanha)

- A dificuldade de acompanhar as atualizações da legislação (que ocorrem com uma certa frequência precisamente por, a nível mundial, a segurança de barragens ser alvo de grande atenção);
- Ser difícil de saber em que medida a legislação está a ser aplicada (fator de certa importância, pois qualquer estudo comparado é mais fecundo se se apoiar em legislação que esteja a ser efetivamente levada à prática);

A situação atual em matéria de legislação a nível mundial indica que 20% dos países têm legislação específica para barragens. Relativamente aos restantes 80 %, podem-se encontrar as seguintes situações (Franco 2001):

- Países sem barragens;
- Países com barragens e legislação de difícil acesso;
- Países com barragens, mas que não é considerada necessária legislação específica;
- Países com barragens com legislação em preparação.

Refere-se quanto ao terceiro grupo que nele figuram países com poucas barragens e sem qualquer tipo de legislação como a Irlanda e existem outros com barragens de dimensões consideráveis como a Turquia, mas que apenas dispõem de normas técnicas.

No Quadro 5.1 listam-se os países estrangeiros, relativamente aos quais se dispõe de informação quanto à legislação vigente (adaptado Martins 2000).

Quadro 5.1 – Países que dispõem de legislação (adaptado Martins 2000)

País	
Africa do sul	França
Alemanha	Holanda
Argentina	Itália
Austrália	Japão
Áustria	Jugoslávia
Bósnia e Herzegovina	Marrocos
Canada	Noruega
China	Reino Unido
Croácia	Roménia
Egipto	Rússia
Eslováquia	Suécia
Eslovénia	Suíça
Espanha	União indiana
EUA	Turquia
Finlândia	Zimbabwe

5.3 CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

A classificação das barragens tem várias formulações nos diferentes países, atuando muitas vezes como uma base para selecionar os requisitos de segurança adequados às diversas categorias de barragens.

As barragens são geralmente classificadas de acordo com o tipo e características principais (geometria da barragem e os materiais usados na construção), volume da albufeira e consequências em caso de rutura (risco potencial), ou uma combinação desses fatores.

Nos EUA, cerca de 80% dos estados definem a classificação com base na dimensão e no risco potencial associado. Para a maioria dos estados (mais de 60%), a classificação do risco potencial inclui três níveis, de acordo com a recomendação da “*Federal Emergency Management Agency*”. No entanto, alguns estados têm classificações em dois, quatro e cinco níveis. As classificações quanto ao risco potencial também são previstas na legislação de outros países fora da Europa, como no Canadá e África do Sul (ICOLD 2012).

Na maioria dos países europeus a legislação considera a classificação de em três níveis de risco potencial (alto, significativo e baixo risco). Estas classificações são usadas para adotar medidas de proteção civil, algumas medidas de controlo de segurança (por vezes combinadas com classificações com base na dimensão e finalidade de barragens) e também alguns critérios de dimensionamento, tais como (ICOLD 2012):

- A escolha do período de retorno para as cheias de projeto;
- Os requisitos de segurança para descarregadores de cheias e descargas de fundo: número de comportas, suas dimensões e fontes de energia;
- O equipamento e os procedimentos a serem adotados na fiscalização e monitorização de barragens e os requisitos relativos aos métodos de recolha e análise de dados;
- A intervenção sistemática nas inspeções e acompanhamento de especialistas (técnicos individuais ou entidades especializadas);
- Outros aspetos, como as qualificações dos técnicos envolvidos na barragem.

O tamanho e o tipo da barragem fornecem indicações sobre a onda de cheia que seria originada em caso de rutura, cenário a considerar, apesar da sua diminuta probabilidade de ocorrência. Torna-se, assim, necessário avaliar a onda de inundação para estimar o risco de danos, a nível de vidas humanas, de propriedades e de valores ambientais.

A classificação é, portanto, baseada no pressuposto de que pode ser útil para minimizar o risco de danos devido à rutura e que as disposições associadas aos regulamentos têm em conta os vários fatores envolvidos, nomeadamente (ICOLD 2012):

- Comportamento da barragem devido à ocorrência de ações excecionais (cheias, terremotos, deslizamentos de terra), vulnerabilidade da barragem (relacionado com o projeto, construção, operação e manutenção) e eficácia do programa de controlo de segurança de barragens (inspeções, testes e monitorização);
- Consequências (risco potencial), devido à propagação da onda de cheia em função das características da barragem e da ocupação do vale, na zona em que a altura e a velocidade da onda é perigosa para a vida humana, os bens e o ambiente, bem como a eficácia do programa de proteção civil em situações de emergência (aviso, alerta e resgate).

A legislação (regulamentos e normas) de segurança de foi desenvolvida em muitos países nas últimas décadas, sobretudo para prevenir eventuais cenários de ruturas descritas anteriormente no capítulo 3. Os

documentos de regulação permitem, assim, integrar melhorias significativas vividas na segurança destas estruturas, como também na extensão da sua vida útil.

A legislação de segurança em vigor e as orientações técnicas também referem a consideração de cenários de rutura de barragem, mapas de inundação, medidas de proteção civil, nomeadamente sobre os planos de emergência, incluindo os sistemas aviso para avaliar os critérios e os procedimentos relativos à segurança de barragens nos vales a jusante.

No Quadro 5.2 são apresentados, de forma muito sumária, quais os critérios para barragens com regulamentação, qual a classificação referente ao risco potencial e quais são alvo de plano de emergência. Estes aspetos são analisados com mais detalhe ao longo deste capítulo.

Quadro 5.2 – Quadro síntese das barragens sujeitas a regulamentação e dos planos de emergência (adaptado de ICOLD 2012)

País	Barragens sujeitas a regulamentação		Plano de emergência
	Altura e Volume	Nº de classes (tipo de classificação)	
Áustria	$H > 30$ e $V > 5$	-	Grandes barragens
Finlândia	Classes 1 a 3	3	Classe 1
		(C)	Classes 1 e 2 – sistemas de alerta
França	$H \geq 2$	4 (H, V)	$H \geq 20$ e $V \geq 15$
Alemanha (estado NRW)	$H > 5$ e $V > 1$	6 (Tipos de barragens)	Serviços de proteção civil
Itália	$H > 15$ e $V > 1$	-	Grandes barragens
Holanda	$H = 3$ a 13 (diques)	2 (H)	Avisos no local
Noruega	$H > 2$ e $V > 0.01$	5	Classes 2, e 4
	Classes de 0 a 4	(C)	
Portugal	$H > 8$	3 (C)	Classe 1
Roménia	Classes 1 a 4	4 (H, v)	Classes 1,2, 3 e $V > 10$
Eslovénia	$H \geq 15$ ou $H \geq 10$ m e ≥ 1	3 (C)	Classe 1 – Análise de rotura da barragem
Espanha	$H \geq 15$ m	3	Classes A e B
	$H \geq 10$ e $V \geq 1$	(C)	
Suíça	$H \geq 5$ e $V \geq 0.05$	4	Serviços de proteção civil

(C)			
	$H \geq 10$		
Suécia	$H \geq 5$ e $V \geq 5$ Ou barragens “de elevada importância”	4 (H, V)	$V \geq 2$
Reino Unido	$V \geq 0.25$	-	Serviços de proteção civil

H – Altura da barragem (m); C – Risco potencial (consequências);
V - capacidade do reservatório (10^6 m^3)
NRW - Estado da Renânia do Norte

5.4 ENTIDADES ENVOLVIDAS

São muitas as entidades envolvidas na segurança de barragens, podendo ser divididas em órgãos administrativos com a função de gestão (em muitos casos denominada de Autoridade, responsável pela supervisão da barragem), donos e especialistas.

A Autoridade é, normalmente, um órgão público (nacional ou regional, ou ambos). Esta pode ter um papel de controlo administrativo e/ou de supervisão técnica.

A Autoridade de segurança de barragens toma decisões sobre a classificação de barragens, com base na documentação fornecida pelo dono de obra. A classificação das barragens pode não ser necessária, se a Autoridade considerar que a barragem não provoca qualquer risco no vale a jusante, normalmente são as barragens de pequena dimensão.

Geralmente, a Autoridade é um ministério ou um conjunto de ministérios, mas há várias soluções, dependendo do país em questão (Martins 2000):

- Comissão;
- Uma comissão associada a um ministério;
- Um departamento ministerial;
- Uma pessoa.

Na maioria dos casos, a responsabilidade da segurança das barragens pertence ao dono de obra (proprietário ou concessão). Cabe ainda ao dono de obra suportar todas as despesas originadas pelo controlo de segurança, medidas de proteção civil e ainda por outras medidas consideradas necessárias pela Autoridade.

Em Portugal, existem diferenças significativas entre os donos de obra de barragens e a sua capacidade de lidar com questões de segurança, dependendo do tipo de barragens. Para as grandes barragens, as condições de segurança são, em geral, melhores que nas pequenas barragens (ICOLD 2012).

A responsabilidade da segurança de barragens pode, ainda, ser partilhada pela autoridade, caso verificado na Suíça (empresas semi-públicas). Por vezes, o dono de obra é a própria autoridade, como em Portugal (APA) que se assume assim como responsável. No caso dos EUA, (para as barragens federais), e da África do Sul, a autoridade é um ministério.

Apresentam-se, seguidamente, algumas disposições dos diferentes países, relativas às entidades intervenientes no controlo de segurança de barragens (ICOLD 2007).

Na Áustria, existem três níveis ou órgãos de autoridade: para barragens com alturas superiores a 30 m ou volume da albufeira superior a 5 hm³, barragens no rio Danúbio e outras que possam afetar recursos hídricos estrangeiros e para os restantes casos são as entidades governamentais regionais.

Na Finlândia, o Ministério da Agricultura e Florestas é responsável pela direção geral, acompanhamento e desenvolvimento de atividades no âmbito da legislação de segurança de barragens.

Na França, o dono de obra é responsável por qualquer dano que as barragens, diretamente ou não, podem produzir, em caso de incidente, acidente durante a construção ou exploração. As obrigações gerais do dono de obra são definidos em algumas leis, especialmente na lei sobre a água e nos decretos-lei de segurança pública. A autoridade (governo francês e os seus representantes) também tem responsabilidades, para a garantir a segurança pública e, por isso, supervisiona a ação do dono de obra .

A Alemanha tem uma organização federal e todos os estados alemães têm a sua própria legislação. A Autoridade suprema para o estado da Renânia do Norte, Vestefália, é o Ministério do Ambiente do Ordenamento Ambiental e Agricultura, que tem de ser informado pelas autoridades subordinadas e departamentos técnicos. O controlo, em detalhe, da segurança de barragens é da responsabilidade das Autoridades Estaduais de Meio Ambiente.

Em Itália, existem três organizações principais que são responsáveis pelas barragens: Autoridade nacional de barragens, administrações regionais e a comissão de barragens. Os serviços de Proteção Civil são responsáveis pela gestão de situações de emergência e do salvamento da população em caso de acidentes. Em cada seis meses, o dono de obra deve enviar para a Autoridade Nacional de Barragens um relatório, emitido pelo engenheiro responsável, com as condições de segurança da barragem e os principais dados de medição de monitorização.

Na Holanda, as estruturas são, na sua maioria, geridas pelas autoridades locais. O órgão responsável pela implementação de políticas e outras ações a nível nacional é a Direção Geral das Obras Públicas e Gestão da Água.

Na Noruega, o Ministério do Petróleo e Energia é responsável pela publicação das normas de segurança de barragem, enquanto a Direção de Energia e Recursos Hídricos tem a autoridade executiva para administrar os regulamentos de segurança de barragens. Cada dono de obra deve contratar um engenheiro de segurança de barragens que precisa de uma aprovação formal.

Em Portugal, a Autoridade é personalizada pela APA, Agência Portuguesa do Ambiente, organismo do Ministério do Ambiente, que colabora e promove a intervenção das restantes figuras da administração pública, LNEC e ANPC.

Na Roménia, a coordenação da administração é da responsabilidade Comissão Nacional de Segurança de Barragens, que faz parte do Ministério da Água, Florestas e Proteção do Meio Ambiente. O controlo das barragens é feito a nível central ou pelas autoridades locais. Os donos têm a sua própria comissão para a avaliação da segurança de barragens.

Na Eslovénia existem dois ministérios envolvidos na segurança de barragens: Ministério da Agricultura e Meio Ambiente e Ministério da Defesa.

Em Espanha, a fiscalização da barragem depende da sua localização. De um modo geral, a segurança da barragem é da responsabilidade do Ministério da Agricultura (Departamento de Recursos Hídricos), que representa a Autoridade. Os Governos são responsáveis pela segurança da albufeira, mas também pela segurança das barragens, caso tenham competências. O Ministério do Interior é responsável pela segurança pública na envolvente das barragens.

Na Suécia existem três órgãos de administração de segurança de barragens, que actuam a nível nacional, regional e municipal. O governo atua como autoridade a nível nacional para questões gerais de segurança de barragens. A autoridade a nível regional tem como principal objetivo a monitorização e inspeção das barragens de acordo com o Código Ambiental. A nível municipal é responsável pelo plano de emergência, sistemas de aviso e alerta e de salvamento.

No Reino Unido, o Departamento do Ambiente e Transportes é responsável pela legislação de segurança da albufeira. O departamento tem um programa de pesquisa de segurança de redes de albufeiras, sendo que o objetivo principal é a publicação de orientações.

5.5 DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO PROJETO

Referem-se algumas disposições relativas ao projeto de diferentes países (ICOLD 2007):

- O regulamento de segurança de barragens e normas norueguesas incluem especificação de combinações de carga, coeficientes de segurança, projeto, folga, descarregador de cheias e descargas de fundo e monitorização durante a construção. O regulamento também refere normas gerais do campo da engenharia civil.
- Na Eslovénia, não há nenhuma regulamentação especial que apenas diga respeito a projetos de barragens. As regras gerais de infraestruturas com mais importância são guiadas pela legislação de construção.
- Em Espanha, há normas técnicas de segurança para projeto, construção e primeiro enchimento que descrevem os estudos gerais (uso do albufeira, climatologia, geologia, sismicidade do local), estudos detalhados (desenhos, mapa de inundações, cálculos das estruturas), e estudos ambientais (incidência na população, qualidade da água, sedimentos da albufeira) que devem ser incluídas no projeto.
- Na Suécia, o Código Ambiental e a Lei de Proteção Civil não contém requisitos detalhados para a projeto, construção e exploração de barragens. Não existem, ainda, requisitos especiais das Autoridades em matéria de construção ou o primeiro enchimento.
- Na Suíça, os projetos e as alterações durante a construção devem ser aprovados pela Autoridade responsável.

5.5.1 Cheia de projeto

Além da cheia de projeto associada a um dado período de retorno (exemplo: 100 a 1000), é usual considerar uma cheia superior, cheia de verificação que pode ser a cheia máxima provável (PMF *Probable Maximum Flood*).

O regulamento suíço considera uma cheia cujo caudal de ponta é 1,5 x superior ao caudal de ponta da cheia com o período de retorno de 1000 anos. O regulamento espanhol considera como “*avenida extrema*” a maior cheia que a barragem pode suportar. O regulamento italiano considera um caudal de ponta da cheia de projeto correspondente a 1.4 para barragens de betão ou 1.7 para barragens de aterro. Em geral, aceita-se para cheia de verificação, condições de funcionamento que não se aceitam para cheia de projeto (por exemplo, menor folga e contribuição das descargas de fundo) (Martins 2000).

No Reino Unido, não há regras oficiais para o cálculo e dimensionamento de barragens. No entanto, os guias técnicos são publicados sobre alguns pontos específicos: barragens de aterro, barragens de betão e alvenaria, mapa de inundação, entre outros.

As “*guidelines*” do estado canadiano de Alberta são bem explícitas quanto à escolha da cheia a considerar para o dimensionamento. Primeiramente classificam as barragens em três níveis (pequenos, médios e grandes), em função da altura da barragem e da capacidade da albufeira (Quadro 5.3); de seguida, classificam a barragem quanto ao risco potencial em função da perda de vidas humanas e prejuízos materiais (Quadro 5.4). Por fim, em função das classificações anteriores determinam o período de retorno associado de acordo com o Quadro 5.5.

Quadro 5.3 – Classificação da barragem em função do volume e altura (Martins 2000)

	V - Capacidade da albufeira (10 ⁶ m ³)	Altura H (m)
Pequenas	$V < 1.2$	$H < 12$
Médias	$1.2 \leq V \leq 60$	$12 \leq H \leq 30$
Grandes	$V > 60$	$H > 30$

Quadro 5.4 – Classificação do risco em função da perda de vidas humanas e prejuízos materiais (Martins 2000)

	Perda de Vidas Humanas	Prejuízos Materiais
Baixo	Não esperada	Mínimos
Significativo	“Poucas”	Apreciáveis
Alto	“Mais que algumas”	Elevados

Quadro 5.5 – Matriz do período de retorno em função risco potencial e classificação das barragens (Martins 2000)

	Pequenas	Médias	Grandes
Baixo	100	100 a 0.5xPFM	0.5 a 1x PFM
Significativo	100 a 0.5*PFM	0.5 a 1x PFM	1x PFM
Alto	0.5 a 1 x PFM	1x PFM	1x PFM

É importante referir que estas “*guidelines*” utilizadas no Canadá não preveem a determinação de cheias com períodos de retorno superiores a 100 anos.

Referem-se outras disposições relativas à escolha da cheia de projeto de diferentes países (ICOLD 2007):

- Na Finlândia, o período de retorno depende da classificação da barragem:
 - Classe 1 o período de retorno é de 5000-10000 anos;
 - Classe 2 o período de retorno é de 500-1000 anos;
 - Classe 3 o período de retorno é de 100-500.
- Em França não há, ainda, regras definidas para os cálculos de conceção de barragens. Os projetos que envolvem as maiores barragens (mais de 20 m acima do nível do solo) são examinados pela Comissão Técnica de Barragens. Os projetos apresentados à Comissão devem incluir alguns estudos, nomeadamente relativos a geologia, sismologia, estudo de cheias, avaliação de risco.
- Quanto aos requisitos técnicos na legislação alemã, existem regras de dimensionamento para cada tipo de barragem e albufeira. O mapa de inundação depende do tipo de barragem e tem um

período de retorno até 1000 anos (Quadro 5.6). A legislação alemã refere ainda que deve ser considerada a folga suficiente para a PMF.

Quadro 5.6 – Período de retorno da cheia de projeto do estado da Renânia do Norte, Vestefália (ICOLD 2007)

Tipo de barragem	Período de retorno da cheia de projeto (anos)
Albufeiras	1000
Albufeiras de controlo de inundações	Até 1000
Barragens	100
Albufeiras para armazenamento	100 a 1000
Barragens de rejeitados	1000

5.5.2 ÓRGÃOS DE SEGURANÇA

As diferentes legislações e “*guidelines*” divergem quanto à possibilidade de considerar a contribuição de descargas de fundo e tomadas de água para a descarga da cheia de projeto. Referem-se de seguida as orientações de diferentes países (Martins 2000):

- Na Áustria e em Portugal, não se podem considerar as descargas de fundo nem as tomadas de água.
- Em França, as tomadas de água não são consideradas e, geralmente, as descargas de fundos também não podem ser consideradas.
- Na Suécia, não se podem considerar as tomadas de água.
- Em Itália, não se pode considerar as tomadas de água, mas podem-se considerar as descargas de fundo, se tal for previsto no projeto.
- Em Espanha, não é possível considerar as tomadas de água, excetuando casos justificáveis, mas podem considerar-se as descargas de fundo.
- Na Suíça, podem-se considerar as descargas de fundo e as tomadas de água com reserva de que o dispositivo de obturação ao qual corresponde maior caudal se deva considerar inoperacional.

A legislação italiana não permite que uma barragem só disponha de descarregadores equipados. Em termos gerais, 50% da capacidade de descarga deve corresponder a descarregadores sem comportas. Além disso, em barragens de aterro, só se admitem descarregadores de superfície. No caso de avaria de uma comporta, a cheia de verificação deverá escoar-se sem galgamento, que com que folga reduzida (metade do normal, com um mínimo de 1m)

Várias legislações ou “*guidelines*” obrigam a prever a inoperacionalidade de uma comporta: França e Suíça – ainda que com exceções, Inglaterra, Áustria só no caso de barragens de aterro.

Existem legislações que obrigam a que o descarregador de cheias tenha pelo menos dois vãos (Espanha e Portugal) e que apontam para a necessidade de esses vãos terem uma largura, de modo a que não sejam obstruídos por materiais (designadamente, troncos de árvores) arrastados pelo escoamento.

Nem todas as legislações ou “*guidelines*” explicitam a obrigatoriedade de descargas de fundo, mas muitas exigem-na (como acontece em Portugal). Entre estas destacam-se os seguintes países: Suíça, França, Áustria e Espanha. O regulamento espanhol impõe mesmo, excepto para as barragens menos importantes, descarga de fundo com duas comportas em série em cada uma delas. Também o regulamento suíço refere que, regra geral, cada descarga de fundo deve dispor de duas comportas. As

duas comportas são também prescritas na Áustria. Além disso, devem ser acionadas por meio de duas fontes distintas de energia. A questão das duas fontes distintas de energia é também mencionada no regulamento espanhol (não só para o acionamento de equipamento, como também para a iluminação da barragem).

Como já foi referido, há barragens sem descarga de fundo. Do ponto de vista de segurança, isso é um inconveniente já que dificulta ou torna impossível baixar o nível na albufeira numa situação de emergência, complica a operação do primeiro enchimento e torna impraticável o esvaziamento da albufeira para o exame do leito desta ou das zonas mais baixas da barragem. Note-se que o fato da barragem estar situada em zona sísmica torna ainda mais preocupante esta lacuna (Martins 2000).

5.6 EXPLORAÇÃO E INSPEÇÕES

As inspeções podem ser levadas a cabo: pela Autoridade, a qual pode dispor de um quadro técnico próprio ou contratar uma equipa de engenheiros especializados, pelo dono de obra em conjunto com uma agência especializada (Itália), pelas autoridades locais (Holanda, Suécia) ou por consultores independentes. Estas inspeções referem-se sobretudo a inspeções especiais, que mobilizam especialistas nos diversos domínios e às quais é fixada uma frequência de inspeção reduzida, normalmente 10 anos (Martins 2000).

As inspeções de rotina têm naturalmente uma frequência muito maior, tipicamente um ano. As inspeções realizadas são da responsabilidade do dono de obra que cobre as respetivas despesas da inspeção.

Em muitos países, tal como em Portugal, após a ocorrência de alguns eventos excecionais como sismos, cheias, deslizamento de terras ou qualquer outro evento que possa alterar o estado de segurança das barragens, são efetuadas inspeções.

Na Áustria, a revisão deve ser efetuada através de inspeções periódicas dos órgão de segurança (descarregador de cheias e descargas de fundo), pelo menos uma vez por ano e inspeção gerais da barragem e da albufeira por engenheiro responsável pela segurança (em muitos casos apoiado por um geólogo), também com a mesma periodicidade. Para barragens com altura superior a 15 metros ou volume da albufeira superior a 500 000 m³ os procedimentos são os seguintes (ICOLD 2007):

- Vigilância pelo proprietário (contínua);
- Verificação geral e avaliação da segurança pelo dono de obra (engenheiro de segurança de barragens) com elaboração de um relatório de segurança enviado à autoridade, com periodicidade de um ano;
- Verificação geral e avaliação da segurança pela comissão de barragens (intervalo de 5 anos).

Na Finlândia, o dono de obra deve organizar o acompanhamento da barragem de acordo com um programa de monitorização. As condições de segurança das barragens de classe 1 e 2 devem ser inspecionados pelo menos uma vez por ano. Nas barragens de classe 1, o relatório de inspeção deve ser enviado à autoridade. Deve ainda organizar uma inspeção periódica no máximo de cinco em cinco anos. A autoridade tem o direito de participar nesta inspeção.

Na França, o regulamento impõe alguns requisitos para os donos de obra, de acordo com a classe das barragens. O dono de obra deve realizar inspeções visuais periódicas visuais (incluindo visitas técnicas detalhadas, anualmente, para as barragens de classe A e cada 5 anos para barragens de classe B). A cada dois anos, o relatório inclui uma análise detalhada dos resultados fornecidos pela inspeção. Para barragens de classe A ou B, a regulamentação impõe um estudo de avaliação de risco, e uma revisão

deste estudo a cada dez anos. Para barragens de classe A, esse estudo deve ser seguido por uma revisão geral de segurança, incluindo inspeções especiais.

Na Alemanha, a manutenção distingue-se em acompanhamento contínuo, frequente e especial. O dono de obra deve praticar sempre um acompanhamento contínuo. No que diz respeito à vigilância frequente, o dono deve elaborar um relatório (intervalo de 1 ano) e apresentá-lo à autoridade competente. Uma vigilância especial ocorre a cada 10, anos ou após eventos excepcionais (inundações ou sismos).

Na Itália, a legislação de segurança de barragens obriga a que a equipa do dono de obra deva estar presente continuamente no local da barragem, numa casa de guarda localizado ao lado da barragem. A presença não contínua no local da barragem é permitida apenas em alguns casos particulares. Todos os meses, o proprietário deverá enviar à Autoridade uma lista dos resultados do sistema de inspeção e observação. Todas as observações são registadas no local da barragem. A cada seis meses, o dono deve enviar para a Autoridade um certificado, emitido pelo engenheiro responsável, confirma as condições de segurança da barragem e sua operação.

De acordo com a legislação da Holanda, o operador, que não é necessariamente o dono de obra, é obrigado a realizar uma avaliação de segurança a cada doze anos. Além de avaliações de segurança em profundidade a cada 12 ou 6 anos, também existem ações de manutenção regulares e frequentes e inspeções visuais.

Na Noruega, as inspeções regulares da barragem são realizadas em diferentes níveis (de acordo com a classe do risco potencial das barragens) por pessoal especializado. Devem ser feitas inspeções periódicas a cada ano, inspeções essenciais a cada 5 a 7 anos e inspeções especiais durante e após os eventos excepcionais (grandes inundações). A cada 15 a 20 anos (dependendo da classe barragem) é efetuada uma reavaliação da barragem, comparando o nível atual da barragem com dados anteriores e compara-se com os requisitos apresentados na última edição do regulamento de segurança de barragens em vigor.

Em Espanha, as inspeções de segurança mais detalhadas são realizadas por equipas multidisciplinares não relacionadas com o dono de obra, dependendo da categoria da barragem. Cada 5 anos, no caso das barragens A e B e 10 anos nas barragens classificadas na categoria C.

A legislação da Suíça impõe que o dono de obra é responsável por (ICOLD 2007):

- Controlo do funcionamento das comportas dos órgãos de segurança;
- Inspeção visual e a implementação do sistema de monitorização;
- Inspeção anual por um profissional experiente;
- Publicação de relatórios anuais sobre os resultados da inspeção e observação, destinados à Autoridade;
- Avaliação (pelo menos de cinco em cinco anos) por especialistas reconhecidos no domínio das barragens (engenheiro ou geólogo). Estas avaliações incluem um parecer sobre as condições da barragem, uma análise do seu comportamento, uma análise do sistema de observação e inspeção com uma proposta de programa de monitorização.

5.7 PLANO DE EMERGÊNCIA

O plano de emergência no âmbito da segurança de barragens é um assunto relativamente recente. No entanto, países como EUA, Suíça, França e Canadá já têm experiência, as orientações disponíveis, desses países, incluem requisitos mais detalhados para o desenvolvimento de planos de emergência.

Para alguns países, como Portugal e Espanha, o plano de emergência de barragens só deu os seus primeiros passos nos últimos anos, enquanto noutros países existe uma situação intermédia. Cada país pode ter uma abordagem diferente sobre o plano de emergência da barragem, definindo responsabilidades diferentes ou diferentes modos de partilha de responsabilidades para as diferentes entidades (sendo os mais importantes o dono de obra, a autoridade e as autoridades de proteção civil). No entanto, o desenvolvimento e a implementação de um plano de emergência é geralmente considerada a questão-chave para atenuar perdas no vale a jusante.

5.7.1 APLICAÇÃO DO PLANO DE EMERGÊNCIA

Como as expectativas de segurança pública estão a aumentar em todo o mundo, a legislação de segurança de barragens de vários países exige o desenvolvimento de métodos de análise para cenários de ruturas de barragens, a fim de obter informações sobre as consequências da rutura da mesma e, em alguns casos, até mesmo para pequenas barragens. A preparação e ação de salvamento e plano de emergência são geralmente um requisito obrigatório, a menos que as consequências de um cenário de rutura sejam muito reduzidas (normalmente para barragens de pequena dimensão cuja albufeira tem um volume relativamente pequeno). Assim, a existência de um plano de emergência acompanhado de um sistema de alerta é uma condição indispensável. No entanto, o requisito mínimo para ter um plano de emergência pode ser diferente para cada país, por exemplo (Martins 2000):

- Em França, é necessário um plano de emergência para as barragens superiores a 20 m ou para reservatórios maiores do que $15 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Na Roménia, é necessário um plano de emergência para as barragens superior a 20 m ou para reservatórios maiores do que $10 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Na Suíça, sistemas de alerta precoce são obrigatórios para os reservatórios com mais de $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ e também, de uma forma mais fácil, para qualquer barragem que apresenta perigo para a população a jusante.

5.7.2 VALE A JUSANTE E ZONAMENTO DE RISCO

A área de inundação de diferentes zonas de perigo pode ser identificada de acordo com algumas das características da onda de inundação, em particular os níveis de água, as velocidades e o tempo de chegada da onda de inundação. Em França, são identificadas três zonas de risco, dependendo do tempo de chegada da onda de cheia (Martins 2000):

- Zona de 15 minutos (geralmente localizada 5 a 10 km da barragem), que é definida como a zona de auto-salvamento onde devem ser previstas advertência pública por sirenes existentes na barragem;
- Zona de alarme I, onde é obrigatório ter um plano de emergência para as ações de salvamento;
- Zona de alarme II, onde danos causados pelas cheias são reduzidos (não são esperadas perdas de vida humanas).

Na Suíça, estão previstas apenas duas zonas de risco:

- Zona relativamente próxima, relativa à distância alcançada pela frente da onda em duas horas e onde advertências públicas através de sirenes de alarme de água devem ser asseguradas;
- Zona relativamente afastada, coberta por sirenes de alarme geral.

Em Portugal, a zona de perigo importante é delimitada pela distância de propagação da frente de onda em 30 minutos (com um mínimo de 5 km). Nesta zona, a responsabilidade de avisar a população pode ser atribuída ao dono de obra. Alguns países adotam para esta zona mais vulnerável, a co-responsabilidade de alerta à população, partilhada entre o dono de obra pela e a autoridade de proteção civil.

5.7.3 SISTEMAS DE AVISO E ALERTA

Sistemas de aviso e alerta são meios não-estruturais destinados a minimizar os impactos das cheias nas populações, propriedades e meio ambiente, que também podem desempenhar um papel importante na gestão de perigos. Os sistemas de aviso podem ser, geralmente, divididos nos seguintes tipos (ICOLD 2007):

- Aviso público usando sistemas sonoros (notificação por meio de sirenes e altifalantes fixos ou móveis), bem como sistemas visíveis;
- Notificação direta pessoal via telefone ou telemóveis, também incluindo o aviso de porta-a-porta;
- Televisão ou estação de rádio (noticiários). Muitos dos países europeus têm sistemas de alerta que estão a ser usados não somente para um tipo específico de risco, mas também em caso de múltiplos potenciais de perigo, tais como: armas nucleares, químicas, terremotos, cheias e guerra.

Alguns países só autorizam aviso acionado manualmente. Na Suíça, por exemplo, não é permitido alerta automático. O aviso é emitido por um operador no local da barragem. Os serviços de proteção civil aconselham o uso de sirenes nas localidades e o uso de altifalantes móveis (dos municípios) fora de localidades. Quando a área de inundação é pequena (incluindo um máximo de três localidades) a utilização de aviso móvel é considerada uma solução melhor do que a utilização das sirenes.

Outros países têm avisos automáticos emitidos em caso de falha. Na Noruega, os sistemas de aviso são acionados automaticamente, aviso por sirenes. No entanto, o aviso automático por telefone é possível em alguns cenários.

Na França, na "zona de 15 minutos", o aviso é automático e diretamente emitido pelo sistema de emergência da barragem. Os indivíduos podem ser advertidos por sirenes, mas também existe a notificação pessoal através do serviço telefónico automatizado com controlo de computador.

Além disso, como mostra a tabela há semelhanças entre os sistemas de alerta de alguns países (Quadro 5.7).

Quadro 5.7 - Sistemas de alerta em vários países europeus (ICOLD 2007)

País	Tipo de sistema de alerta
Áustria	Sistema de alerta na Áustria é composto por 700 sirenes.
Dinamarca	Sistema de 1100 sirenes eletromecânicas ao ar livre para avisar 80% da população e os outros 20% por meio de veículos com altifalantes.
Finlândia	1 500 Sirenes ao ar livre que abrangem zonas urbanas. Em regiões com baixa densidade populacional, são utilizados veículos com altifalantes.

Holanda	45 Estações de controlo regional para alertar a população total do país. Existem avisos por meio da televisão ou de rádio.
Noruega	Vigilância e sistema de segurança baseado em sirenes para primeiro aviso. Sistema de alerta é operado pelas Autoridades de Defesa Civil. Existem avisos por meio da televisão ou de rádio.
Suécia	Alarme constituída por 4 800 sirenes ao ar livre em 250 municípios, concentrados em áreas urbanas com mais de 1 000 habitantes para o primeiro aviso. Existem avisos por meio da televisão ou de rádio.

6

PROPOSTAS DE MELHORIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

6.1 INTRODUÇÃO

Embora as barragens sejam necessárias para uma adequada gestão dos recursos hídricos, têm associados riscos consideráveis que importa minimizar. Por outro lado a exigência com a segurança das pessoas e bens tem aumentado à medida que as sociedades evoluem.

Neste contexto, importa rever com alguma regularidade a legislação de segurança vigente nos vários países.

Em Portugal, a legislação de segurança de barragens em vigor pode considerar-se bastante completa e organizada, comparativamente com a de outros países.

No entanto, a análise da legislação de segurança de barragens de outros países, bem como a análise de documentos de cariz comparativo das legislações, permite apontar alguns aspetos que poderão ser ajustados ou completados.

Assim, no âmbito desta dissertação, apresentam-se seguidamente alguns aspetos da legislação em vigor que poderão ser revistos e completados:

- Classificação das barragens;
- Estudos hidrológicos;
- Folga;
- Descarregadores de cheias;
- Descargas de fundo;
- Planos de emergência e sistemas de aviso;

Antes de apresentar os aspetos atrás referidos é importante mencionar que a legislação portuguesa, neste âmbito, não refere periodicidade da reavaliação das condições de segurança das barragens, ao contrário de alguns países europeus. Assim propõe-se a realização de revisões análogas à Noruega:

Reavaliação a cada 15 a 20 anos (dependendo da classe da barragem), tendo em conta os novos elementos base e metodologias e cumprindo os requisitos apresentados na legislação de segurança em vigor.

6.2 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS

A classificação de barragens para questões regulamentares e de segurança, como já foi referido, adota critérios relacionados com os riscos potenciais, em função do número de residentes, bens materiais e ambientais.

Como se pôde verificar, não é coerente a classificação do risco potencial nas Norma do Projeto e no atual regulamento. A classificação do RSB apresenta três classes I, II e III (Quadro 4.2), enquanto a das NPB apresenta apenas dois níveis (elevado e significativo). Em comparação com os regulamentos de alguns países a classificação que o RSB adota é bastante específica.

Assim sugere-se uma possível alteração do quadro do anexo I das Normas de Projeto em Barragens (Quadro 4.4). Este aspeto não se trata propriamente de melhoria, mas sim de uma revisão para que as terminologias adotadas estejam coerentes.

Deve ser considerada a possibilidade de construção de aglomerados populacionais ou de infra-estruturas em zonas em que antes não existiam, que alteram as condições de ocupação do vale a jusante e, consequentemente, a classificação da classe da barragem quanto ao risco potencial. Assim, sugere-se a revisão da classificação das classes de barragens (anexo I do RSB), com base nestas possíveis alterações.

Com o passar dos anos, a idade das barragens vai aumentando, estas vão envelhecendo e apresentando deteriorações. Cerca de mais de metade das grandes barragens em Portugal foram construídas antes de qualquer regulamento, e aproximadamente 30% foram construídas até à década de 70, pelo que, têm no mínimo, 45 anos. O envelhecimento dos materiais e equipamentos é um processo natural, que consequentemente altera as suas características.

No Regulamento de Segurança de Barragens de Moçambique (que ainda aguarda publicação), por ter tido colaboração de entidades que acompanham a legislação em Portugal, nomeadamente o LNEC, encontram-se alguns aspetos comuns à legislação portuguesa. Contudo é introduzido um aspeto novo, relativo à vulnerabilidade das barragens.

A classificação das barragens é realizada não só em função do risco potencial (análogo ao regulamento português) mas também função da vulnerabilidade. Em termos de vulnerabilidade são tidas em conta as características técnicas da barragem, o seu estado de conservação e a implementação de medidas de controlo de segurança, considerando-se as seguintes categorias: de baixa vulnerabilidade, media e alta.

Quadro 6.1 – Cruzamento das classificações relativas à vulnerabilidade e ao dano potencial (Ramos 2015)

Vulnerabilidade	Risco potencial		
	Alto	Médio	Baixo
Alta	Classe I	Classe I	Classe III
Media	Classe I	Classe II	Classe III
Baixa	Classe I	Classe III	Classe III

Em suma, sugere-se a revisão da classificação de algumas barragens, principalmente as mais antigas, com base no Quadro 6.1 e uma reavaliação da ocupação do vale a jusante.

6.3 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

As barragens são obras com um período de vida útil considerável em comparação com a média das restantes obras. Desta forma, torna-se necessário proceder à reavaliação dos princípios e critérios adotados no projeto original. O projeto de uma barragem requer elaboração de estudos hidrológicos desenvolvidos na bacia hidrográfica em estudo, pois é através destes estudos que são determinados os hidrogramas das cheias naturais e modificadas, para dimensionamento dos órgãos de segurança. Como foi referido no capítulo 3.3.1, a generalidade dos resultados obtidos a partir dos novos estudos hidrológicos são superiores aos adotados nos estudos originais, onde resultou, em alguns casos, na necessidades de construir novos descarregadores para garantir a segurança da obra.

A solução de projeto original é, do ponto de vista operacional, pouco adequada. Assim propõe-se, a revisão do dimensionamento dos órgãos de segurança com base nos seguintes aspetos:

- Revisão dos dados hidrológicos definidos no projeto original;
- Aplicação de métodos de cálculo mais recentes com vista à obtenção dos hidrogramas de cheia de projeto;
- Verificação de alterações na bacia hidrográfica natural devida, por exemplo, a ocupação do solo por outras obras hidráulicas, existentes ou projetadas, que possam influir nos estudos hidrológicos, como barragens a montante e a jusante;
- Estudos do escoamento superficial das bacias hidrográficas, nomeadamente dos coeficientes de escoamento e permeabilidade dos solos, inclusivé estimativa da evolução futura do uso e ocupação solo.

A legislação portuguesa no que respeita aos estudos hidrológicos estabelece que estes devem ser realizados utilizando metodologias adequadas face à informação disponível, recorrendo à análise estatística de series homogéneas da ordem de pelo menos 30 anos, na ausência de registos suficientes a informação disponível deve ser complementada com informação deduzida das precipitações e que a cheia de projeto deve ser fixada recorrendo a métodos estatísticos, de simulação hidrológica e fórmulas empíricas, completada por informação histórica disponível. A legislação portuguesa não especifica as metodologias a utilizar.

Já as orientações (“*guidelines*”) das barragens no Texas são específicas quanto aos métodos a utilizar nos estudos hidrológicos. Estas orientações apresentam uma série de critérios e métodos detalhados indicando as vantagens e desvantagens de cada. São também apresentados os programas de cálculo automático que devem ser utilizados para se desenvolverem os estudos hidrológicos necessários ao dimensionamento dos descarregadores de cheias.

6.4 FOLGA

No que respeita à folga, a legislação portuguesa é genericamente omissa. Somente, no regulamento de pequenas barragens, é estabelecido o valor de 1m de folga para barragens de aterro.

A fixação de um valor para a folga tem como objetivo evitar o galgamento é função da ondulação causada pelo vento, que depende das características e geométricas da albufeira.

Na tabela 6.3 indicam-se as folgas a considerar, na legislação Britânica, para cada classe de barragem definidas na “*Institution of Civil Engineers*” (1996), sendo estes os valores a adotar no cálculo da cota de coroamento. Ou seja, para a obtenção da cota máxima da água na albufeira, estes valores deverão ser adicionados às cotas correspondentes ao nível máximo de cheia. Este requisito suplementar é suscetível

de resultar em cotas de coroamento mais conservativas no projeto de novas barragens, para além da construção de paredes de reflexão de ondas nos coroamentos das barragens, para evitar o risco de galgamento da barragem.

Quadro 6.2 – Folgas definidas pela *Institution of Civil Engineers* (West, Miranda e Matos 1998)

Classe quanto ao risco potencial	Velocidade do vento de dimensionamento	Altura mínima da ondulação (m)
A	Média Horária Máxima Anual	0.6
B		0.6
C		0.4
D		0.3

No quadro 6.3 apresenta-se, os valores mínimos, de folga considerados no futuro Regulamento de Segurança de Barragens de Moçambique em função do tipo de barragem e da altura. Considera-se adequado, que futuramente, o regulamento adote valores análogos ao regulamento de Moçambique.

Quadro 6.3 – Folgas definidas no futuro Regulamento de Segurança em barragens de Moçambique (Ramos 2015)

Tipo de barragem	Altura	Folga
Aterro	$H \geq 100$	2
	$30 \leq H \leq 100$	1.5
	$H < 30$	1
Betão	-	1

H- altura da barragem

Refere-se ainda que dois regulamentos, o italiano e o espanhol, pronunciam-se sobre folga e cheia de verificação. O regulamento italiano aceita folga nula no caso de barragens de betão (haverá portanto galgamento episódico devido a ondulação) e folga com o valor de 1/3 da folga correspondente a cheia de projeto no caso de barragens de aterro. O regulamento espanhol dispõe o mesmo que italiano para barragens de betão com risco potencial elevado, no caso de barragens de aterro, este aceita folga nula se o paramento de jusante estiver especialmente protegido (Martins 2000).

Considera-se adequado incluir este critério na revisão do regulamento português.

6.5 DESCARREGADORES DE CHEIAS

Os descarregadores de cheias são os órgãos responsáveis pela descarga da água em caso de cheia e como já foi referido, a incapacidade de vazão das cheias é o aspeto que leva ao maior número de casos de acidentes.

Apesar da legislação portuguesa ser bastante rígida no que diz respeito aos descarregadores de cheias, existem outras legislações que referem aspetos mais conservativos. Assim, indicam-se alguns requisitos que podem vir a ser adotados numa revisão do regulamento (Martins 2000):

- A legislação italiana não permite que uma barragem só disponha de descarregadores equipados. Em termos gerais, 50 % da capacidade de descarga deve caber a descarregadores

sem comportas. Além disso, em barragens de aterro só se admitem descarregadores de superfície. No caso de avaria de uma comporta, a cheia de verificação deverá escoar-se sem galgamento ainda com que folga reduzida (metade do normal com mínimo de 1 m)

- Várias legislações ou guidelines obrigam a prever a inoperacionalidade de uma comporta (França e Suíça, ainda que com exceções, Inglaterra, Áustria só no caso de barragens de aterro.)
- Na “*guidelines*” do Texas é exigido que as barragens sejam compostas por descarregador de emergência para casos excecionais em que os descarregadores de cheias não sejam capazes de escoar o caudal necessário.

Numa revisão futura dos estudos hidrológicos (atrás referidos) em que se verifique a incapacidade dos descarregadores de cheias, propõem-se quatro opções fundamentais que permitem o aumento da capacidade de vazão dos descarregadores existentes, que são os órgãos que normalmente carecem de intervenções mais significativas do ponto de vista hidráulico:

- Abaixamento da cota da crista da soleira descarregadora;
- Introdução de estruturas que permitam o aumento do desenvolvimento da crista da soleira descarregadora;
- Construção de novos descarregadores de cheias ou de descarregadores auxiliares;
- Construção de diques fusíveis.

Sugere-se também a implementação de práticas adotadas pela EDF, “*Électricité de France*”, no que respeita os ensaios das comportas. A EDF estabelece ensaios periódicos das comportas e do seu sistema de alimentação. No caso das comportas, pelo menos com uma periodicidade anual, enquanto nos dispositivos de alimentação de segurança e do respetivo equipamento, a verificação deve ocorrer pelo menos duas vezes por ano (Ramos 1995).

6.6 DESCARGAS DE FUNDO

O único requisito imposto pelo RSB é que as descargas de fundo devem permitir o esvaziamento da albufeira e ser equipadas com duas comportas, não sendo referidos quaisquer critérios de dimensionamento das descargas de fundo, tempo e condições de esvaziamento da albufeira e em que condições mínimas deve ser efetuado o esvaziamento. Também não é referido nenhum equipamento de proteção (blindagem) da descarga de fundo contra a erosão causada pela passagem da água a elevadas velocidades.

Deste modo propõe-se, numa futura revisão da legislação, a adoção de alguns critérios adotados noutros países:

- Um dos critérios, de origem francesa, refere que as descargas de fundo têm de ser capazes, em situação de caudais afluentes nulos, de reduzir para metade a altura de água da albufeira em oito dias e que, além disso, a secção do escoamento não seja inferior a 3m² (Ramos 2000).
- Outro critério utilizado foi definido pelo “*US Bureau of Reclamation*”, em 1982, considerando que a descarga de fundo deverá ter capacidade para, em conjunto com os outros órgãos de segurança e exploração, baixar o nível da albufeira, no período de 1 a 4 meses, para o menor dos seguintes:
 - Metade da altura hidráulica (nível médio entre o NPA e o nível de capacidade nula);
 - Nível correspondente a 10 % da capacidade total.

6.7 PLANO DE EMERGÊNCIA E SISTEMAS DE AVISO E ALERTA

Na legislação portuguesa é exigido sempre que a barragem seja classificada como classe I, para a aplicação do planeamento de emergência.

De forma a minimizar este tipo de ocorrências, poderão adotar-se os procedimentos utilizados em França que são mais conservativos. A legislação define três zonas de risco, dependendo do tempo de chegada da onda de cheia (Martins 2000):

- Zona de 15 minutos (geralmente localizado 5 a 10 km da barragem), que é definida como a zona de auto-salvamento, onde devem ser previsto aviso público por sirenes;
- Alarme da Zona I, onde é obrigatório ter um plano de emergência para as ações de salvamento;
- Zona de alarme II, onde os danos causados pelas cheias são reduzidos (não são esperadas perdas de vidas humanas).

Em França, na "zona de 15 minutos", o aviso é completamente automático e diretamente emitido pelo sistema de emergência da barragem. A população pode ser advertida por sirenes, mas também existe notificação pessoal através do serviço telefónico automatizado por computador.

Para casos em que o potencial risco de rutura das barragens seja muito elevado, deverá haver uma conjugação entre os sistemas de aviso compostos por sirenes e por meios manuais, através de um residente permanente na barragem.

7

CONCLUSÕES

Neste capítulo resumem-se as principais conclusões obtidas ao longo da elaboração desta dissertação.

A gestão eficaz dos recursos hídricos necessita da construção de barragens que permitam a criação de albufeiras para diversas finalidades, nomeadamente, abastecimento, rega, controlo de cheias, produção de energia e navegação. Estas obras encontram-se entre as mais importantes realizações do Homem, ultrapassando geralmente outras construções em volume e em custo, mas também em impacto ambiental e social.

No entanto, as barragens têm associados riscos potenciais consideráveis, uma vez que, em caso de acidente grave, podem provocar perda de vidas humanas e elevados prejuízos materiais no vale a jusante. Assim, torna-se indispensável garantir a segurança destas obras por intermédio de medidas adequadas de projeto, construção, exploração, observação e inspeção.

A legislação portuguesa de segurança de barragens é bastante completa, sendo composta por regulamentos (para pequenas e grandes barragens), normas de projeto, construção, observação e inspeção, aguardando-se a publicação das normas de exploração.

Em Portugal existem atualmente cerca de 231 grandes barragens, que foram construídas mais intensamente entre as décadas de 60 e 90. Das barragens referidas cerca de 55 % foram construídas antes da entrada em vigor de legislação o que obrigou à revisão dos estudos iniciais das mesmas. Alguns destes estudos permitiram identificar deficiências consideráveis na segurança hidráulico-operacional.

A mesma conclusão é verificada pela análise das principais causas de acidentes e ruturas, a nível mundial. Das causas responsáveis por deficiências de comportamento dos descarregadores de cheias, destacam-se as seguintes:

- Subavaliação do valor de cheia de projeto;
- Insuficiente capacidade de vazão ou obstrução provocadas por materiais transportados em períodos de cheias;
- Mau funcionamento dos equipamentos hidráulicos, incluindo manutenções deficientes, avarias nos equipamentos ou sistemas de alimentação;
- Deteriorações e ruturas estruturais, dos equipamentos e das zonas a jusante, provocadas por ações hidrodinâmicas.

Em relação ao primeiro ponto referido, subavaliação do valor do caudal de projeto, há que ter em conta que em barragens mais antigas os valores dos caudais de projeto foram definidos utilizando critérios obsoletos, séries históricas de tamanho reduzido, e/ou dados hidrológicos de valor duvidoso. Salienta-

se também, que a não observação dos cuidados necessários para desobstrução e limpeza da zona de aproximação da soleira descarregadora podem constituir risco de acidente.

Em relação ao segundo ponto referido, mau funcionamento dos equipamentos hidráulicos é essencialmente devido ao funcionamento deficiente das comportas e consequência de: falta de energia; obstrução ou encravamento do equipamento de manobra; impossibilidade de acesso à zona de comando; deficiente manutenção e conhecimento dos equipamentos.

A principal deficiência das descargas de fundo prende-se com a sua inoperacionalidade, não sendo cuidadas como órgão efetivo de segurança das barragens mas apenas como meios auxiliares de exploração das albufeiras.

Do ponto de vista de segurança são os primeiros anos de vida da barragem que suscitam mais preocupação, pois esta é a fase em que a barragem está exposta pela primeira vez aos esforços. Como se verificou pela análise estatística é nos primeiros anos de vida que se verificam mais ruturas, levando a crer que as causas são devidas a deficiências no projeto ou construção. A legislação dedica grande importância ao primeiro enchimento e estabelece as normas de projeto de forma a prevenir eventuais erros nesta fase. A fase de exploração é também de elevada importância, pois é durante a qual vai desempenhar as funções para a qual foi construída, o regulamento dedica muita importância a esta fase de vida da obra, tornando obrigatória a existência de normas de observação e inspeção. São referidos em especial o controlo de segurança durante a exploração, esvaziamentos rápidos da albufeira, o controlo de segurança estrutural, hidráulico-operacional e ambiental, as inspeções, as medidas a tomar no caso de ocorrências excecionais e circunstâncias anómalas, e a obrigatoriedade de um arquivo técnico da obra relativo à exploração.

A análise da legislação estrangeira no que diz que respeito à segurança de barragens, permitiu concluir que a legislação portuguesa é bastante completa, por se tratar de legislação relativamente recente. A legislação portuguesa é composta por regulamentos e normas que constituem o enquadramento legal das atividades e entidades envolvidas no controlo de segurança destas obras no projeto, construção, exploração e observação e inspeção. Contudo apontaram-se alguns aspetos que poderão ser revistos, complementados ou melhorados, nomeadamente:

- Compatibilização da terminologia usada no RBS e nas NPB quanto à tabela do anexo da Norma de Projeto de Barragens;
- Revisão da classificação das barragens quanto ao risco potencial e cruzamento com a vulnerabilidade associada, para revisão dos períodos de retorno das cheias de projeto;
- Revisão dos estudos hidrológicos, nomeadamente relacionados com variabilidade temporal e espacial das bacias hidrográficas;
- Definição de critérios para o cálculo da folga;
- Definição de critérios de dimensionamento para as descargas de fundo;
- Alteração dos planos de emergência e das condições de funcionamento dos descarregadores de cheias, anotando regras mais conservadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, B. (2000). Riscos a jusante e legislação. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Almeida, B. Ramos, C. Santos, M. Viseu, T. (2003) Dam Safety Legislation. In *Dam Break Flood Risk Management in Portugal, Portuguese Nato integrated project, Lisbon*.
- Almeida, B. (2003) Dam risk management at downstream valleys. In *Dam Break Flood Risk Management in Portugal, Portuguese Nato integrated project, Lisbon*.
- Almeida, J. M., Gomes, A. S., Cordeiro, M. S. (2001). Apresentação e análise da regulamentação. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Ben Chie Yen, Yeou-Koung Tun (1993). Stochastic risk modeling of dam overtopping. In *Reliability and Uncertainty Analyses in Hydraulic Design*.
- Caldeira, Laura. Tendências atuais da legislação de barragens. LNEC. <http://barragens-cplp.lnec.pt/LNEC%20%20Laura%20Caldeira%20%20Tendencias%20Actuais%20da%20Legislacao%20de%20Barragens.pdf>. Acedido em 23 de Maio de 2015.
- Daniel D. Bradlow, Alessandro P, Salman M.A. A Comparative Study. In *Regulatory frameworks for dam safety*. The World Bank. Washington, D.C, (2001).
- Faria. A.N (2001). Acidentes e Incidentes em Portugal. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Franco, M. A., Gomis, G. Z. (2001). Normativa Sobre Seguridade de Presas. Revista de Obras Públicas Nº 3.407, Fevereiro de 2001.
- Gomes, S. (1986). *A Observação no Controlo de Segurança das Barragens de Betão Portuguesas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Gomes, S. (2000). Legislação portuguesa sobre segurança de barragens. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Gomes, S., Castro, A. T., Pinheiro, A. N., Vranas, R., Neves, J. M., Liebermann, S., Ferreira, M. T., Alves, H., Ferreira, A. S. V. (2001). Controlo de segurança. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/Lista.htm. Acedido em 16 de Abril de 2015.
- <http://www.dueceira.pt/trilhos/albufeiras.php?lang=pt>. Acedido em 15 de Junho de 2015.
- <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/foa/2009-2010/1-semester/obras-de-aterro/aulasteoricas/aulas-10-e-11>. Acedido em 25 de Maio de 2015.
- http://www.icold-cigb.org/GB/Dams/role_of_dams.asp. Acedido em 28 Março 2015.
- http://www.icold-cigb.org/GB/Dams/technology_of_dams.asp. Acedido em 28 Março 2015.
- http://www.icold-cigb.org/GB/Dams/dams_safety.asp Acedido em 28 Março 2015.
- <http://www.icold-cigb.org/GB/ICOLD/organization.asp> Acedido em 28 Março 2015.
- http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp. Acedido em 28 Março 2015.
- <http://www.damsafety.org/news/?p=412f29c8-3fd8-4529-b5c9-8d47364c1f3e>. Acedido em 19 de abril de 2015.

- ICOLD. *Rotura de Presas Análisis Estadístico*. Boletín 99. Comité Español de Grandes Presas. Madrid (1996).
- ICOLD. *Dam Safety Guilines*. Bulletin 59, (1987).
- ICOLD. *Small dams. Design, Surveillance and Rehabilitation*. Bulletin 143, (2011).
- ICOLD. *Safety of existing dams report*. European Club Working group Report, (2012).
- ICOLD. *Dam Legislation*. European Club, (2007).
- ICOLD. *Talling Dams. Risk of Dangerous*. Bulletin 121, (2001).
- Lencastre, A. (1984). *Descarregadores de Cheia*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.
- Martins, R. (2000). Legislação sobre segurança de barragens a nível mundial. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Martins, R. (2001). *Segurança de Barragens e Protecção de Vidas Humanas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Melo José. *Importância das regras de exploração, inspeções e manutenção dos órgãos de segurança e exploração de barragens*. LNEC. Maputo, 18 de novembro de 2014.
- Martins, R. (2002). *A Folga em Barragens*. LNEC, Lisboa.
- NCB (1998). *Normas de Construção de Barragens*. Diário da República I série-B Nº 93 – Portaria nº 246/98 de 21 de Abril.
- NOIB (1993). *Normas de Observação e Inspeção de Barragens*. Diário da República I série-B Nº 213 – Portaria nº 847/93 de 10 de Setembro.
- NPB (1993). *Normas de Projecto de Barragem*. Diário da República I série-B Nº 213 – Portaria nº 846/93 de 10 de Setembro.
- Oliveira Pedro, J. (2001). *Segurança e Funcionalidade das Barragens*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Oliveira Pedro, J (2005). A Revisão do Regulamento Português de Segurança de barragens. In *Barragens, Tecnologia, segurança e interação com a sociedade*. LNEC, Portugal.
- Pinheiro, A. N. (2006). *Estruturas Hidráulicas – Obras de Dissipação de Energia*. http://www.isa.utl.pt/der/MecFluidos/EngenhariaAgua/Bibliografia/obras_dissipacao_energia_IST_2006.pdf. Acedido em 17 de Maio de 2015.
- Pinheiro, A. N. (2007). *Descarregadores de Cheias em Canal de Encosta, Dimensionamento e Implantação*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Pinto, A. V. (2008). *Gestão de Riscos e Segurança de Barragens*. 3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados, 18 e 19 de Novembro de 2008, LNEC, Salvador - Brasil.
- Pinto, A. V., Faria, R., (2001). Incidentes, acidentes e rupturas em barragens. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Pires, P., Sá, L. (2009). - Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens. In *Cadernos Técnicos PROCIV*, Autoridade Nacional de Protecção Civil e INAG.
- Quintas. E.F. (2002) *Planeamento de Construção de Barragens de Terra*. Dissertação de Mestrado. FEUP.

Quintela, A. C. (1990). *Estruturas Hidráulicas*.

Ramos, C. M. (1995). Aspetos hidráulicos e Operacionais. In *Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.

Ramos, C. M. (2000). Segurança hidráulico-operacional e legislação. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.

Ramos, C. M. (2004). *Descarregadores de Cheias Soluções Não Convencionais Critérios de Projeto*. http://www.seprem.es/st_pe_f/JTAliviaderos1/RED1.pdf. Acedido em 21 de Maio de 2015.

Ribeiro, V. (1998) *Segurança de Barragens – Ondas de Inundação Aplicação da Legislação Portuguesa*. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.

RSB (1990). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 5/90 série I – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei nº 11/90 de 6 de Janeiro.

RSB (2007). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 1ª série Nº 198 – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei nº 344/2007 de 15 de Outubro.

Silva, E.R. Matos, A.J. Rocha, A. J. (2005) Segurança Hidráulico-Operacional de Grandes Barragens Portuguesas, In *Barragens, Tecnologia, segurança e interação com a sociedade*. INAG. Portugal.

The Norwegian Regulation for Planning, Construction and operations dams. The Norwegian Water Resources and Energy Administration. Norwegian University Press. Oslo Norway (1986).

Thomas Telford. Long-term benefits and performance of dams. In *Dam Accident Data Base*. ICOLD, London (2004).

West, M. S., Miranda, J. C., Matos, E. (1998). Avaliação de Segurança de Barragens Uma comparação Entre as Abordagens Britânica e Portuguesa. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Afonso, J. R., Ramos, J. M., Caldeira, L., Gomes, A. S., Serra, J. B., Quintela, A. C., Pinheiro, A. N. (2001). Barragens. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.

Almeida, J. M. (1998). *Um Projeto para a Segurança das barragens Portuguesas*. Congresso da Água 98, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.

David S. Bowles, Francisco L. Giuliani, Desmond N.D. Hartford, J.P.F.M. (Hans) Janssen, Shane McGrath, Michel Poupart, David Stewart, Przemyslaw A. Zielinski. ICOLD Bulletin. In *Dam Safety Management*. St Petersburg (2007).

EDP Produção, SA. (2013a). Declaração Ambiental 2012 – Aproveitamentos Hidroelétricos da Direção de Produção Hidráulica: Centro de Produção Cávado-Lima, Douro e Tejo-Mondego.

Faria Nuno. Barragem na Ribeira da Sertã – Anteprojecto dos órgãos hidráulicos. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Agosto de 2013.

Fernandes, I. R., Oliveira, M. S., Oliveira, M., Silva, J. D. (2013). Hydraulic-Operational Safety Assessment of EDP Dams in Portugal. Current Status. 8th International Conference of EWRA “Water Resource Management in na Interdisciplinary and changing Context”, Porto.

Ferreira, A. C. (2010). Análise Hidráulica de Potenciais Soluções para a Descarga Controlada de Caudais Ecológicos em Aproveitamentos Hidroelétricos. Dissertação de Mestrado, FEUP.

- Figueiredo, N. A. X. (2010). Dissipação de Energia a Jusante de um Descarregador Não Convencional. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- França, M. J., Ferreira, R. M. L., Sousa, J., Gamboa, M. (2010). Plano de Acção do Plano de Emergência Interno da Barragem de Odelouca. 10º Congresso da Água, 21 a 24 de Março de 2010, Alvor.
- M. M. Portela, A. C. Quintela, J. F. Santos. (2011). Tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, (Maio 2001).
- Neves, E. M. (2011). *A Regulamentação da Segurança das Pequenas Barragens. Situação Actual*. A Engenharia dos Aproveitamentos Hidroagrícolas: actualidade e desafios futuros, 13 a 15 de Outubro de 2011, Laboratório nacional de Engenharia Civil.
- Norma técnica de seguridad para el proyecto, construcción y puesta en carga de presas y llenado de embalses. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid (2001).
- Norma técnica de seguridad para la clasificación de las presas y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de presas y embalses. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid (2001).
- Norma técnica de seguridad para la explotación, revisiones de seguridad y puesta fuera de servicio de presas y embalses. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid (2001).
- Nunes, A. C. (2012). *A Energia Hidroelétrica no Actual contexto do Mercado*. Seminário Internacional Portugal – Brasil Diversidades e Estratégias do Sector Eléctrico, 17 de Fevereiro de 2012, Universidade do Minho.
- Pina, C. (2011). *As Novas Barragens e o Controlo de Segurança*. Encontro Nacional de Engenharia Civil, 21 de Maio de 2011, FEUP, Porto.
- Ramos, J. M. *Medidas de adaptação, de correção e de reabilitação das barragens existentes em decurso da entrada em vigor do futuro Regulamento de Segurança de Barragens de Moçambique*. LNEC. <http://barragenscplp.lnec.pt/AQUALOGUS%20%20Mora%20Ramos%20%20Medidas%20de%20Adaptacao.pdf>. Acedido a 10 Junho de 2015.
- Ramos, J. M., Oliveira, S. B. (2001). *Controlo de Segurança Estrutural de Barragens de Betão Aspectos da Experiência Portuguesa*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Relvas, A. T., Pinheiro, A. N. (1998). *Descarregadores de Cheias não Convencionais Sobre Barragens de Aterro. Apresentação de Soluções e Estudo Comparativo*. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.
- Rodrigues, H. M. H. (2006). *Controlo de Segurança Hidráulico Operacional em Barragens de Aterro*. http://w3.ualg.pt/~rlanca/trabalhos_orientados/2006_12_helena_rodrigues/Parte_Teorica_Final_Revista.pdf. Acedido em 2 de Abril de 2015.
- RTS (1996). *Reglamento Técnico Sobre Seguridad De Presas y Embalses*. Ministério de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. B.O.E nº78 de 30 de Marzo de 1996.
- Sousa, R. J. C. (2011). Controlo de Qualidade na Execução de Fundação numa Barragem. Dissertação de Mestrado, FEUP.